


*С. Д. Клементьев*

# ФОТОЭЛЕКТРОНИКА
## И ЕЕ ПРИМЕНЕНИЕ



НАУЧНО-ПОПУЛЯРНАЯ БИБЛИОТЕКА
СОЛДАТА И МАТРОСА

С. Д. КЛЕМЕНТЬЕВ

# ФОТОЭЛЕКТРОНИКА И ЕЕ ПРИМЕНЕНИЕ

ВОЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МИНИСТЕРСТВА ОБОРОНЫ СОЮЗА ССР
*Москва — 1954*

Книга в популярной форме, доступной читателю с 5—7-классным образованием, освещает вопрос о принципе действия фотоэлектронных приборов и применении некоторых фотоэлектронных автоматических устройств в различных областях промышленности и военной техники.

Задача книги состоит в том, чтобы, познакомив читателя с основами фотоэлектронной техники и ее применением, пробудить у него интерес к более глубокому изучению фотоэлектроники и к изобретательству в области применения фотоэлектронных автоматических устройств.

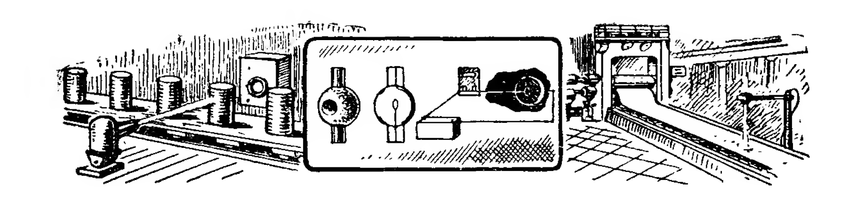
Редактор инженер-майор *Карусь А. П.*
Обложка художника *Митрофанова С. А.*
Технический редактор *Межерицкая Н. П.* Корректор *Ларин В. В.*

Сдано в набор 17.4.54 г. Подписано в печать 16.9.54 г.
Формат бумаги $84 \times 108^1/_{32}$ — $2^3/_4$ п. л. = 4,51 усл. п. л. 4,345 уч.-изд. л. Г-05944.

Военное Издательство Министерства Обороны Союза ССР.
Москва, Тверской бульвар, 18. Изд. № 5/5727. Зак. 202.

1-я типография имени С. К. Тимошенко
Управления Военного Издательства Министерства Обороны Союза ССР

Цена 1 р. 30 к.



## ВВЕДЕНИЕ

В закрытом, полутемном помещении стрелкового тира гулко раздается команда:

— На линию огня!..

Группа солдат быстро занимает исходное положение.

...Огонь!

Но что это за необыкновенная «стрельба»?! Выстрелов не слышно, а видны только короткие вспышки света. И тут же у каждой мишени загорается красная лампочка. Ни одного промаха!

Через несколько секунд красные лампочки гаснут и командир вновь отдает команду:

— Огонь!

И опять происходит непонятное: мы видим беззвучные световые «выстрелы». Короткие вспышки света падают на мишени, и там снова загораются красные лампочки.

Стрельба светом! Но разве это возможно?

Оказывается, возможно. И дело это не такое уж сложное.

«Световое ружье» внешне ничем не отличается от винтовки, но в магазинной части этого необычного «ружья» находится небольшая электрическая лампочка, похожая на лампочку, применяющуюся в автомобильных фарах. В прикладе «ружья» помещены сухие батареи для карманного электрического фонаря. Спусковой крючок является замыкателем цепи лампочки: при нажатии на него электрическая лампочка на мгновение вспыхивает и ружье «стреляет» коротким проблеском света.

Но как же можно при такой «стрельбе» судить о точности прицеливания?

Посмотрим более внимательно на мишень. В ее центре, в «яблочке», помещается маленький, но очень

интересный физический прибор, похожий на электрическую лампочку. Этот прибор называется фотоэлементом. Он-то и сигнализирует о том, насколько метким является стрелок. Фотоэлемент «чувствует» свет. Если стрелок прицелился точно и короткий проблеск света попадает в самый центр мишени, то при этом на мгновение освещается фотоэлемент. Под действием света в фотоэлементе возникает электрический ток, включающий сигнальную лампочку у мишени.

Фотоэлемент часто называют «электрическим глазом». Это образное название очень удачно отражает широчайшие возможности применения фотоэлементов в нашей жизни. Фотоэлементы применяются на производстве, в военном деле, в борьбе с пожаром и на сторожевой службе, в научной работе и в быту. Всюду этот небольшой физический прибор является замечательным, а часто незаменимым помощником человека. Зоркий «электрический глаз» может с успехом вести быстрый и точный счет деталей, проверять качество готовых изделий, управлять различными машинами и механизмами, измерять уровень жидкости в закрытых сосудах, регулировать температуру в помещении и т. д. Фотоэлемент «чувствует» не только видимый свет; он отмечает и невидимые нашим глазом лучи — инфракрасные и ультрафиолетовые. Эти свойства фотоэлементов используются для применения их в приборах, позволяющих хорошо видеть темной ночью.

В нашей стране с каждым годом все шире применяются различные машины-автоматы. Мы едим хлеб, испеченный на хлебозаводах-автоматах, пьем воду, очищенную аппаратами, действующими автоматически, носим ткани, выработанные на станках-автоматах, разговариваем по автоматическим телефонам.

Многие производственные процессы в металлургической, химической, нефтяной, энергетической и других отраслях нашей промышленности в настоящее время полностью автоматизированы. Некоторые современные машины так быстро работают, что человек уже не в состоянии следить за их работой. Управлять такими машинами могут только быстродействующие автоматические приборы.

Применение машин-автоматов в СССР не только сберегает труд рабочих, но и освобождает их от тяжелого физического труда, повышает выработку продукции.

Автоматика помогает создавать изобилие продуктов и промышленных товаров высокого качества.

Чтобы управлять автоматом, рабочий должен быть технически грамотным. Он должен учиться, повышать свои технические знания.

Широкое внедрение автоматики в промышленность играет большую роль в деле уничтожения существенного различия между умственным и физическим трудом, что для нашего коммунистического строительства является проблемой первостепенного значения.

Коммунистическая партия и Советское правительство уделяют большое внимание вопросам автоматизации производства. С каждым годом советская промышленность оснащается все большим количеством самых разнообразных автоматов. Большую и почетную роль играют машины-автоматы и на строительстве мощных гидроэлектростанций.

Одной из самых интересных и важных отраслей автоматики является фотоэлектронная автоматика, в основе которой лежит фотоэлектроника — сравнительно молодая, но быстро развивающаяся область науки и техники.

В фотоэлектронике широко и многообразно используются фотоэлементы.

Что же представляет собой фотоэлемент? Как он устроен и работает? Где и как применяется?

Ответы на все эти вопросы читатель найдет в данной книге.

---

# 1. ФОТОЭЛЕКТРОНИКА

## Электрический ток, рожденный светом

В конце XIX века физики открыли одно очень интересное явление. Было замечено, что свет электрической дуги обладает необыкновенным свойством разряжать электрически заряженные металлические предметы.

Так, например, если взять отполированную цинковую пластинку, сообщить ей отрицательный электрический заряд и соединить с прибором для обнаружения электрического заряда — электроскопом, то два его тонких листочка сразу же разойдутся. Это происходит потому, что тела, имеющие одноименные заряды (в данном случае — листочки электроскопа), отталкиваются одно от другого. По углу отклонения листочков можно судить о величине электрического заряда. Заряженный электроскоп не теряет своего заряда в течение длительного времени.

Однако стоит только осветить пластинку светом электрической дуги, как листочки электроскопа быстро опадут (рис. 1). Это показывает, что под действием световых лучей цинковая пластинка разряжается, теряя часть своих отрицательных зарядов.

Почему же свет заставляет электрические заряды покидать пластинку? Какова связь между светом и электричеством? Эти вопросы заинтересовали выдающегося русского ученого, профессора Московского государственного университета Александра Григорьевича Столетова. В 1888 г. он проделал свои знаменитые опыты, которые и положили начало новой отрасли техники — фотоэлектронике.

Перед цинковой пластинкой Столетов помещал металлическую сетку. Сетку он соединял проводом с положи-

тельным полюсом электрической батареи, в то время как отрицательный полюс через чувствительный прибор для обнаружения электрического тока — гальванометр — был соединен с цинковой пластинкой. Гальванометр показывал отсутствие электрического тока, так как электриче-

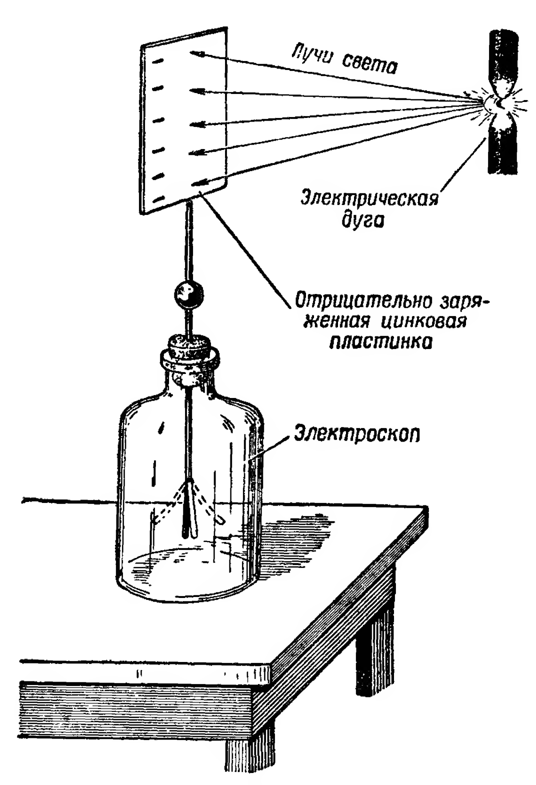



*Рис. 1.* Свет электрической дуги, падая на заряженную цинковую пластинку, разряжает ее. Листики электроскопа быстро опадают

ская цепь была разомкнута слоем воздуха между пластинкой и сеткой.

Но стоило осветить пластинку через сетку светом электрической дуги, как стрелка гальванометра сразу же отклонялась на некоторый угол. Это указывало на то, что по цепи проходил электрический ток (рис. 2).

Каждый раз, как только на пластинку переставал попадать свет, ток прекращался.



Выдающийся русский физик Александр Григорьевич Столетов

Полное объяснение этому необычайному явлению было дано не сразу. Потребовалось сначала подробнее изучить строение вещества, а также и природу света.

Еще в глубокой древности, около двух тысяч лет назад, ученые догадывались, что все окружающие нас тела: вода, дерево, металлы и другие — только на первый взгляд представляются сплошными, а на самом деле состоят из мельчайших невидимых частичек. Эти частички получили название атомов. Атом по-гречески означает «неделимый».

Очень долгое время ученые не могли разделить атомы на части. Поэтому еще в прошлом веке считалось, что атомы неделимы и являются как раз теми кирпичиками мироздания, из которых состоит вся вселенная — мы сами и все окружающие нас предметы.

Однако примерно 40 лет назад[1] физикам удалось «проникнуть» внутрь атомов и после кропотливого изучения выяснить, как они устроены.

Оказалось, что атом имеет сложное строение. В центре его находится атомное ядро, вокруг которого вращаются мельчайшие материальные частички — отрицательно заряженные электроны.

Атомное ядро имеет положительный электрический заряд. Отрицательный заряд всех вместе взятых электронов в атоме в точности равен положительному заряду его ядра, поэтому атом электрически нейтрален.

---

[1] Опыты Резерфорда по «обстрелу» атомов альфа-частицами относятся к 1911—1912 гг.

Притягиваясь к положительно заряженному ядру атома, электроны удерживаются около него на своих орбитах.

Если атом теряет или, наоборот, приобретает лишние электроны, то электрическое равновесие в атоме нарушается, он становится электрически заряженным (положительно или отрицательно). Такие атомы называют ионами.

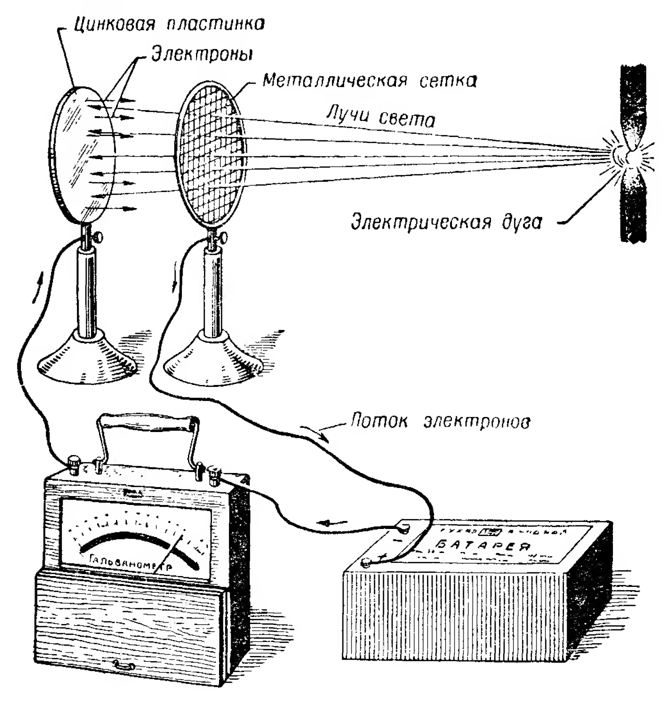



*Рис. 2.* Схема опыта А. Г. Столетова. Свет электрической дуги, падая через металлическую сетку на цинковую пластинку, как бы замыкает электрическую цепь установки; гальванометр показывает наличие в цепи электрического тока

Особое место среди всех веществ занимают металлы.

В металлах часть электронов беспорядочно перемещается между атомами. Эти электроны, в отличие от электронов, которые в других веществах крепко связаны с ядрами атомов, назвали «свободными».

Однако эта «свобода» очень относительна.

Хотя свободные электроны и могут передвигаться от атома к атому, но только внутри самого металла.

Выйти же из металла наружу самостоятельно электронам не удается.

Чтобы оторвать электрон от ядра и, таким образом, превратить атом в положительный ион, нужно произвести работу за счет какой-то внешней силы, т. е. затратить на это некоторую энергию.

Под влиянием дополнительной, идущей извне, энергии свободные электроны могут покинуть металл.

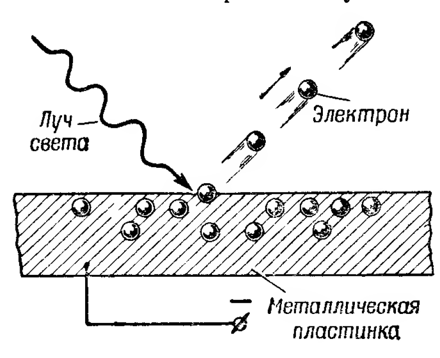



*Рис. 3.* Лучи света, падая на металлическую пластинку, вырывают с ее поверхности электроны

Так, при нагревании металла энергия его свободных электронов увеличивается и они могут вырваться в окружающую среду. Это явление широко используется в современных радиолампах, где накаливаемая током металлическая нить излучает электроны.

Оказалось также, что энергию, необходимую для вырывания электронов из тела, несут с собой и световые лучи, падающие на поверхность металла.

Свет, испускаемый каким-либо источником: солнцем, электрической дугой или лампочкой, — обладает энергией. Падая на различные тела, энергия света превращается в химическую (поглощение солнечных лучей зелеными листьями растений и образование в них под действием света хлорофилла), в механическую (давление лучей света, оказываемое ими на газы, например на хвосты комет, которые вследствие этого изгибаются в сторону солнца), в тепловую (нагревание тел под действием солнечных лучей) или, наконец, в электрическую (вырывание электронов из атомов вещества под действием лучей света).

Таким образом, удивительное явление, которое наблюдал Столетов, с точки зрения электронного строения

металлов объясняется очень просто. В опытах Столетова лучи света, падающие на цинковую пластинку, вырывали с ее поверхности электроны (рис. 3).

Вылетая из пластинки, электроны притягивались к положительно заряженной металлической сетке, а оттуда по проводу попадали в батарею.

Так, в цепи, разомкнутой воздушным промежутком, при действии света возникал электрический ток.

Столетов установил, что чем сильнее освещена цинковая пластинка, тем больше ток в цепи.

Явление выбивания электронов из металлов под действием света получило название фотоэлектрического эффекта (от слова фотос — свет). Прибор же, в котором за счет энергии света образуется электрический ток, назвали фотоэлементом.

## Какие бывают фотоэлементы

Установка А. Г. Столетова, на которой он изучал явление фотоэлектрического эффекта, являлась первым в мире фотоэлементом. Однако использовать такой фотоэлемент для практических целей было еще нельзя. Установка была чересчур громоздкой и, главное, давала слишком слабый электрический ток. Чувствительность к свету у металлических пластинок, которые применял в своих опытах А. Г. Столетов, была очень невелика. Перед учеными стояла задача усовершенствовать этот интересный физический прибор, сделать его меньшим по размерам и более чувствительным к свету. В результате работ многих ученых и инженеров такие фотоэлементы были созданы. Современные фотоэлементы — это уже небольшие, компактные приборы, очень чувствительные к свету.

Достаточно поместить за несколько метров от современного «электрического глаза» тлеющую спичку, как в нем появится электрический ток.

Наша промышленность выпускает теперь много различных типов фотоэлементов (рис. 4).

«Дедушка» современного «электрического глаза» — первый фотоэлемент А. Г. Столетова — работал только под действием сильного света электрической дуги. Теперь же созданы фотоэлементы, чувствительные к самым различным лучам света. Некоторые фотоэлементы работают, когда на них падают даже невидимые, ультрафиолетовые или инфракрасные лучи.

На рис. 5 показано, как устроен один из современных фотоэлементов.

Роль цинковой пластинки здесь выполняет слой светочувствительного металла, нанесенный на внутреннюю

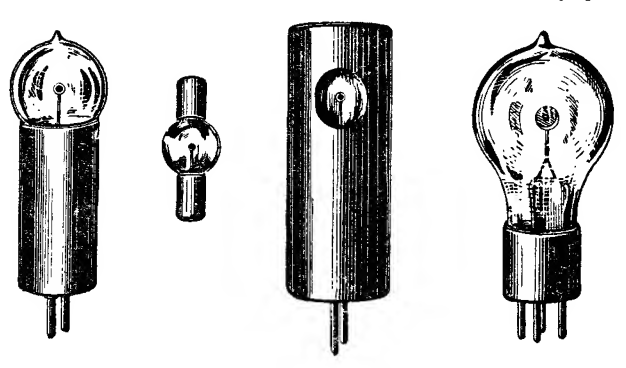


*Рис. 4.* Различные типы советских фотоэлементов

стенку стеклянного баллончика. Вместо металлической сетки в современном фотоэлементе имеется небольшое металлическое кольцо, как бы одна ячейка сетки или небольшая металлическая пластинка. Стеклянный баллончик фотоэлемента соединен с двумя металлическими колпачками — отростками. Они служат для того, чтобы фотоэлемент можно было удобно и быстро включать в электрическую цепь. Один из колпачков соединен с небольшим кольцом — анодом фотоэлемента; он присоединяется к положительному полюсу электрической батареи. Другой металлический отросток — катод — соединен со светочувствительным слоем; он присоединяется к отрицательному полюсу электрической батареи.

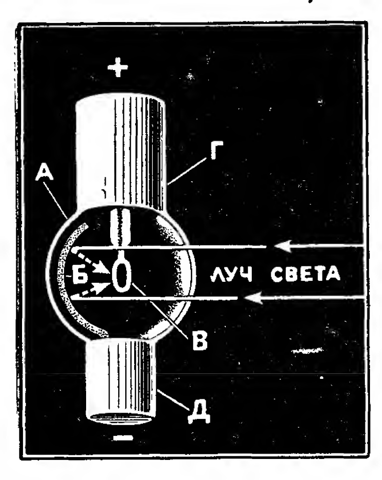



*Рис. 5.* Один из современных фотоэлементов марки ЦГ-3:

*А* — стеклянная колбочка; *Б* — светочувствительный слой; *В* — колечко (анод), *Г* и *Д* — цоколи (электроды)

Свет падает через стекло на светочувствительный слой и выбивает из него электроны. Поток выбитых электронов устремляется к кольцу (пластинке) и замыкает электрическую цепь батареи. В цепи появляется электрический ток.

Для получения светочувствительного слоя в современных фотоэлементах применяются различные металлы и их соединения.

Одним из наиболее распространенных фотоэлементов в настоящее время является кислородно-цезиевый фотоэлемент. Светочувствительный слой этого фотоэлемента сложный. В нем на стекло баллончика нанесена тонкая пленка серебра, на серебре лежит слой окиси цезия (соединение металла цезия с кислородом), а поверх него имеется еще один слой — тончайшая пленка чистого металлического цезия.

Кислородно-цезиевые фотоэлементы очень чувствительны к свету.

В последнее время советские ученые создали новый, еще более чувствительный «электрический глаз» — сурьмяно-цезиевый. В этом фотоэлементе в качестве светочувствительного вещества используют сплав двух металлов — цезия и сурьмы, а поверхностный слой фотокатода состоит из чистого цезия.

Сурьмяно-цезиевые фотоэлементы в несколько раз чувствительнее кислородно-цезиевых. В настоящее время они наиболее распространены в технике.

Приоритет в разработке сурьмяно-цезиевых фотоэлементов принадлежит коллективу советских ученых.

Кроме фотоэлементов, действие которых основано на фотоэффекте, впервые изученном А. Г. Столетовым, существуют и другие фотоэлементы.

В фотоэлементах, о которых рассказывалось выше, свет выбивает электроны из металла и выбрасывает их в окружающее пространство. В этом случае наблюдается внешний фотоэлектрический эффект.

В конце прошлого века русский ученый, профессор Казанского университета В. А. Ульянин наблюдал и подробно изучил другой вид фотоэлектрического эффекта — внутренний.

При внутреннем фотоэффекте электроны не вылетают из металла, а только смещаются внутри него.

Внутренний фотоэффект происходит в тех случаях, когда свет может проникать на достаточную глубину внутрь вещества и там освобождать электрические заряды.

Это исключительно интересное явление наблюдается в газах и парах, в некоторых жидкостях, а также в ряде других веществ.

Особенно сильно проявляется внутренний фотоэффект в веществах, плохо проводящих электрический ток, т. е. в полупроводниках.

При освещении светом многие полупроводники резко уменьшают свое электрическое сопротивление.

В это время они как бы теряют свои изолирующие свойства. При освещении электроны освобождаются, но не вылетают наружу, а остаются внутри вещества.

В результате этого и других очень сложных вторичных процессов электрическое сопротивление некоторых веществ при освещении может уменьшаться в миллионы раз (фотопроводимость).

На основе этого явления были созданы особые фотоэлементы, носящие название фотосопротивлений. Если взять пластинку, изготовленную из химического элемента селена, и включить ее в цепь электрической батареи, как показано на рис. 6, то получится необычайно чувствительное к свету фотосопротивление.

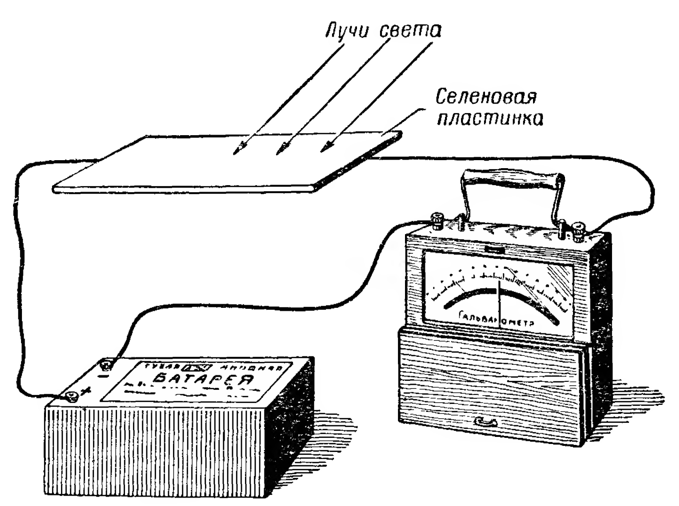



*Рис. 6.* Схема включения селенового фотосопротивления

Селен проводит электрический ток в темноте очень плохо. Его электрическое сопротивление в темноте примерно в 70 миллиардов раз больше электрического сопротивления меди, из которой делаются обычные провода. Ток батареи в цепи с селеновой пластинкой при этом будет очень слабым и его можно обнаружить только при помощи очень чувствительного измерительного прибора— гальванометра. Но стоит только осветить селеновую пластинку, как сразу же ее сопротивление резко упадет. Ток в цепи при этом возрастет во много раз. Чем сильнее будет свет, тем больший ток покажет измерительный прибор.

Фотосопротивления делают не только из селена. Для их изготовления применяют самые различные полупроводники. Из полупроводников же были созданы еще и другие интересные типы фотоэлементов. К ним относятся фотоэлементы с так называемым запирающим слоем. Устройство их несложно. Это металлическая пластинка, покрытая тонким слоем какого-либо вещества, плохо проводящего электричество. Обычно для этого используют медную пластинку, покрытую слоем закиси меди, или железную пластинку, покрытую полупроводником — селеном.

Если такую пластинку включить в электрическую цепь, можно наблюдать следующее явление: пластинка будет пропускать ток только в одном направлении, а именно от металла к полупроводнику. В обратном направлении — от полупроводника к металлу — электрический ток идти не сможет (рис. 7). Это удивительное свойство связано с тем, что у такой пластинки на границе между металлом и полупроводником образуется особый «запирающий» слой; он как бы запирает ход, когда электроны движутся в направлении от полупроводника к металлу, и отпирает его, когда электроны перемещаются от металла к полупроводнику. Толщина этого слоя очень невелика — менее одной стотысячной сантиметра.

Уже давно такого рода пластинки использовались в технике для выпрямления электрического тока, т. е. для превращения переменного тока в постоянный.

В то же время эти пластинки являются и фотоэлементами.

Оказывается, если соединить проводом металлическую пластинку и слой полупроводника, а затем осветить эту пластинку так, чтобы лучи света попадали на запирающий слой, то в цепи пойдет электрический ток без всякого постороннего источника (рис. 8).

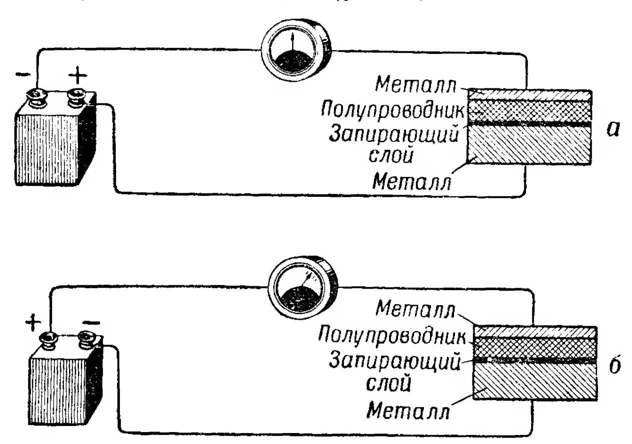



*Рис. 7.* Меднозакисная пластинка с запирающим слоем (схема). Включенная в электрическую цепь, она пропускает ток только в одном направлении — от металла к полупроводнику:

*а* — ток не идет; *б* — ток идет, запирающий слой пропускает электроны

Этот ток будет тем больше, чем сильнее освещается пластинка с запирающим слоем.

Практически слой полупроводника на металлической пластинке делают очень тонким; это необходимо для того, чтобы свет лучше проникал к запирающему слою.

Фотоэлементы с запирающим слоем обладают рядом преимуществ перед фотоэлементами с внешним фотоэффектом. Они более просты по устройству, более удобны в обращении, а главное, не требуют никаких посторонних источников энергии.

Чувствительность фотоэлементов с запирающим слоем к свету сравнительно высока.

Кроме фотоэлементов с запирающим слоем, чувствительных к белому свету и к невидимым, инфракрасным лучам, и созданных В. А. Ульяниным железно-селеновых фотоэлементов, советскими учеными около десяти лет



Зак. 202

назад были созданы новые, более совершенные «электрические глаза» с внутренним фотоэффектом — серно-таллиевые, серно-свинцовые и серно-серебряные. Чувствительность этих фотоэлементов к белому свету во много раз больше чувствительности всех других фотоэлементов.

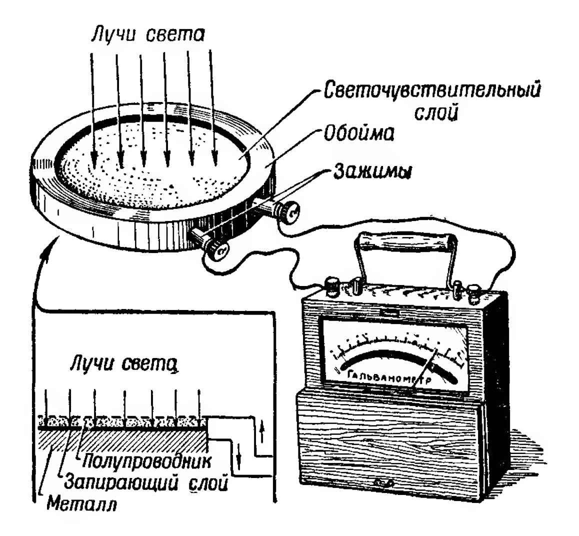



*Рис. 8.* Схема устройства и внешний вид фотоэлемента с запирающим слоем

Однако фотоэлементы с запирающим слоем имеют очень существенный недостаток.

Электрический ток, возникающий даже в наиболее чувствительных к свету фотоэлементах, настолько слаб, что его необходимо усиливать, и только усиленный фототок можно использовать для каких-либо практических целей: для включения или выключения того или иного механизма и т. д. Это сравнительно просто сделать только с фототоком, полученным в фотоэлементе с внешним фотоэффектом. Усилить ток фотоэлемента с запирающим слоем значительно труднее.

Поэтому фотоэлементы с запирающим слоем применяют только в тех случаях, когда для их освещения используется сильный источник света и благодаря этому получается сравнительно большой фототок. Во всех остальных случаях пользуются фотоэлементами с внеш-

ним фотоэффектом, усиление фототока которых не представляет больших трудностей.

Познакомимся теперь со способами усиления фотоэлектрического тока.

## Как усиливается фототок

Самый простой способ усилить фотоэлектрический ток — это включить в цепь фотоэлемента какой-либо источник электродвижущей силы. Таким источником может служить электрическая батарея с напряжением в десятки (иногда сотни) вольт. В этом случае положительный полюс батареи соединяют с анодом, а отрицательный — с катодом фотоэлемента.

Фотоэлемент, соединенный с электрической батареей, дает во много раз более сильный фототок, чем фотоэлемент, не соединенный с батареей.

Другим простейшим способом усиления фототока является заполнение стеклянного баллончика фотоэлемента газом.

Щелочные металлы, которые применяются в светочувствительных катодах фотоэлементов, очень быстро окисляются на воздухе. Поэтому при изготовлении современных фотоэлементов воздух из стеклянных баллончиков выкачивается. Причем некоторые типы фотоэлементов так и выпускаются с откачанным из баллончиков воздухом; такие фотоэлементы называются *вакуумными*. В других фотоэлементах, так называемых газонаполненных, для усиления фототока стеклянный баллончик заполняется небольшим количеством какого-либо инертного газа, например аргона или неона. Такой газ не взаимодействует химически со светочувствительным катодом фотоэлемента, не портит его.

Газонаполненный фотоэлемент дает уже в несколько раз более сильный фототок, чем фотоэлемент вакуумный, пустотный. Чем это объясняется?

Известно, что при облучении светочувствительного слоя фотоэлемента из него вылетают электроны. Поток этих электронов (их называют также фотоэлектронами) устремляется к аноду фотоэлемента, замыкает цепь и этим создает в ней электрический ток. Когда баллончик фотоэлемента заполнен каким-то газом, быстро летящие к аноду фотоэлектроны сталкиваются на своем пути с молекулами газа и выбивают из них новые электроны.

Происходит ионизация газа: газовые атомы и молекулы становятся ионами. Число таких вторичных, выбитых из газа электронов быстро возрастает, и, следовательно, электрический ток фотоэлемента усиливается.

Степень усиления фототока в этом случае сильно зависит от напряжения электрической батареи, включенной в цепь фотоэлемента. Чем выше напряжение этой батареи, тем больше усиление фототока. Однако увеличивать напряжение внешней батареи неограниченно нельзя: при высоком напряжении электрический ток пойдет через фотоэлемент и без его освещения, так как газ, заключенный в баллончике фотоэлемента, становится электропроводящим.

Таковы два наиболее простых способа, при помощи которых добиваются значительного усиления фотоэлектрического тока. Однако получить этими двумя способами достаточно сильный для практического использования фототок все же нельзя. Такой ток используют лишь в отдельных случаях, например для измерения силы падающего или излучаемого света.

Чтобы усилить ток фотоэлемента еще больше, например в несколько тысяч раз, используют обычные радиолампы.

Усиленный радиолампами фотоэлектрический ток может быть уже широко использован. При помощи особого устройства — фотореле — он может приводить в действие механизмы очень большой мощности, например огромный прокатный стан.

## Фотореле

Почти всякая машина-автомат имеет особые устройства, которые автоматически, без участия человека, включают или отключают нужные механизмы: пускают в ход двигатели, переключают скорости, останавливают машины, подают предупредительные сигналы и т. д. Такие устройства называются реле.

Электрический ток (ток-сигнал), воздействующий на реле, может быть очень слабым, а реле, «сработав», включает или отключает очень мощные механизмы.

Широко распространены в современной технике электромагнитные реле. Устройство их несложно.

Почти каждому известно, как устроен электромагнит. Это стальной стержень, на который намотан изолирован-

ный провод. Если через обмотку электромагнита пропускать электрический ток, стержень намагничивается и начинает притягивать стальные предметы.

Если к такому электромагниту прикрепить на шарнире небольшую пластинку стали (якорь) так, чтобы при своем движении она могла замыкать или размыкать контактные пружины, то получится электромагнитное реле (рис. 9).

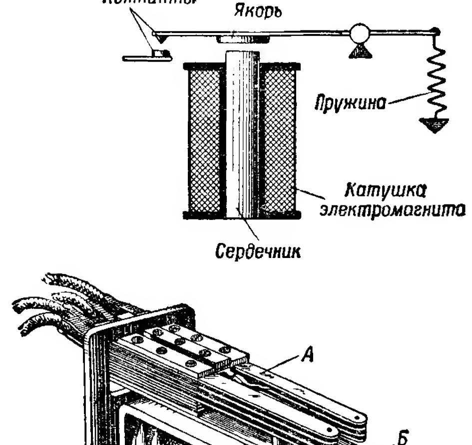



*Рис. 9.* Схема электромагнитного реле (вверху) и внешний вид телефонного реле (внизу):

*А* — контактные пластины; *Б* — скобочка (мостик) якоря; *В* — оттяжная пружина; *Г* — якорь; *Д* — сердечник; *Е* — катушка

К концам контактных пружин присоединяются электрические провода, соединяющие электромагнитное реле с исполнительной цепью.

Как же работает электромагнитное реле?

Например, работает станок-автомат, обрабатывающий сложную деталь. Обработка детали подходит к концу. Но вот резец (или фреза) доходит до того места, где уже необходимо прекратить дальнейшую обработку детали. В этом месте установлена небольшая кнопка «Сигнал остановки». Резец, дойдя до кнопки, нажимает на нее и этим включает цепь электромагнита. Сердечник электромагнита намагничивается и притягивает к себе якорь. Якорь, притянувшись к электромагниту, размыкает контактные пластины и разрывает исполнительную цепь. Отключается мощный электродвигатель станка-автомата, и станок останавливается.

Если ток-сигнал прервать, железный сердечник размагнитится, якорь электромагнита установится в прежнее

положение и контакты вновь замкнут исполнительную цепь мощного электродвигателя.

При желании всегда можно сделать и наоборот, т. е. чтобы слабый ток-сигнал не размыкал исполнительную цепь, а замыкал ее, иными словами, не прекращал работу станка-автомата, а приводил его в действие. Для этого надо заменить в электромагнитном реле контакты, размыкающие под действием тока-сигнала исполнительную цепь, контактами, замыкающими исполнительную цепь.

Часто на одно реле ставят и те и другие контакты. Иногда применяют переключающие контакты.

Следовательно, электромагнитное реле — это выключатель, только в нем цепь тока, питающая электроэнергией различные механизмы (исполнительная цепь), замыкается и размыкается не вручную, а якорем электромагнита под действием слабого тока-сигнала.

Так работает электромагнитное реле.

В приведенном примере цепь тока-сигнала замыкалась нажимом кнопки, т. е. механическим путем. Такой способ включения и выключения мощных исполнительных механизмов широко распространен в технике. Однако он не единственный. Электрическая сигнальная цепь может также включаться светом при помощи фотоэлемента.

Устройство, включающее в себя фотоэлемент, радиоламповый усилитель и электромагнитное реле (часто помещенные в одном общем кожухе), называется фотореле (рис. 10).

Это устройство является как бы световым выключателем.

Фотореле позволяет с помощью лучей света включать и выключать различные электрические аппараты любой мощности. Изменяя силу падающего на фотоэлемент света, можно управлять такими гигантскими машинами, как рельсобалочный прокатный стан, блюминг или быстроходный штамповочный пресс-автомат.

Таким образом, слабым лучом света, например от карманного электрического фонаря, можно пустить в ход или остановить какую-нибудь огромную машину, не подходя к ней близко.

Необходимые для работы фотореле лучи света создаются специальными устройствами, которые называются осветителями. Простейший осветитель представляет со-

бой небольшую трубку диаметром в несколько сантиметров с вделанными в нее оптическими стеклами — линзами. Внутри трубки помещается небольшая электрическая лампочка.

Линзы собирают рассеянный свет электрической лампы в узкий пучок, который направляется на фотоэлемент.

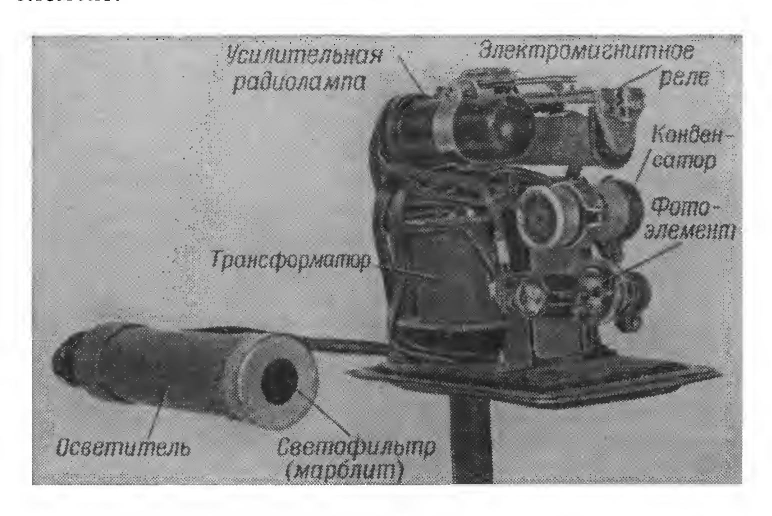



*Рис. 10.* Внешний вид одного из типов фотореле

При управлении с помощью световых лучей на больших расстояниях вместо осветителей с линзами используются рефлекторы типа автомобильных фар или специальные прожекторы.

В начале нашей книги говорилось о том, что некоторые фотоэлементы чувствительны и к невидимым, инфракрасным лучам. Такие фотоэлементы незаменимы при охране важных объектов, так как позволяют далеко видеть не только днем, но и ночью. Они помогают, например, ночью обнаруживать в море корабли противника (см. об этом дальше, стр. 82) и т. п.

Как же сделать видимый луч света невидимым?

Для этого отверстие трубки осветителя закрывают специальным фильтром, пропускающим только невидимые, инфракрасные лучи. Таким фильтром служит тон-

кая пластинка из эбонита или особое «черное» стекло — марблит.

Имеются специальные фильтры и для ультрафиолетовых лучей.

Радиоламповые усилители применяются для усиления фотоэлектрического тока главным образом в тех случаях, когда важно, чтобы фототок изменялся пропорционально силе света. Это необходимо в звуковом кино, телевидении, при передаче фототелеграмм и т. д.

Но когда фотоэлемент используется как прибор, только отмечающий присутствие или отсутствие света, радиолампы усилителя фототоков можно заменить тиратронами. Тиратрон отличается от обычной радиолампы тем, что в его стеклянном баллоне содержится небольшое количество инертного (химически не активного) газа или паров ртути. Электроны, сталкиваясь с частицами газа или паров ртути, выбивают из них новые, добавочные электроны. За счет этих добавочных электронов ток в тиратроне увеличивается во много раз. Тиратрон дает значительно больший ток, чем обычная радиолампа, и поэтому при его применении можно обойтись без электромагнитного реле.

К тиратронному усилителю фототока можно присоединять нужные приборы — электрические звонки, небольшие электродвигатели и т. д.

Усилитель фототоков питается постоянным током от электрических батарей или переменным током осветительной сети.

В последние годы советские ученые и инженеры создали различные типы высокочувствительных фотореле, применение которых необычайно широко и многообразно. Область техники, занимающаяся изучением и разработкой электрических устройств, основу которых составляют фотоэлементы, носит название фотоэлектроники.

## 2. ПРИМЕНЕНИЕ ФОТОЭЛЕКТРОНИКИ

Непрерывно развивающаяся промышленность нашей страны усиленными темпами механизируется и автоматизируется. Для автоматизации производства в ряде случаев используется фотоэлектроника.

Приведем наиболее характерные примеры применения фотоэлектроники в некоторых ведущих отраслях народного хозяйства (металлургии, металлообработке, химии) и в военном деле.

### В помощь оператору

Прокатный цех большого металлургического завода. Без устали, днем и ночью работает огромный прокатный стан. Добела раскаленные стальные болванки из нагревательных печей направляются по рольгангам к вращающимся валкам прокатного стана.

Валки — это массивные стальные цилиндрические барабаны с вырезами, соответствующими профилю изделия.

Пройдя несколько раз между валками, болванка превращается в угловой, круглый или тавровый прокат — рельсы, полосы, балки...

Работой прокатного стана управляет оператор. Одно движение рычага — болванка ползет в валки, другое — и раскаленный металл движется обратно.

Рассчитанными с точностью до секунды движениями оператор передвигает рычаги пульта управления. Нелегка его работа. Ведь за смену он делает до 25 тысяч движений рычагами и к концу рабочего дня сильно устает.

На помощь человеку приходит фотоэлемент.

У рольганга прокатного стана устанавливается фотореле (рис. 11). Когда раскаленная болванка проходит мимо фотоэлемента, она воздействует на него собственным излучением.

Поток света, излучаемого раскаленной болванкой, падает на фотоэлемент. Фототок поступает в усилитель, а оттуда в реле.

Реле включает магнитный пускатель мощного электродвигателя, сближающего валки прокатного стана.

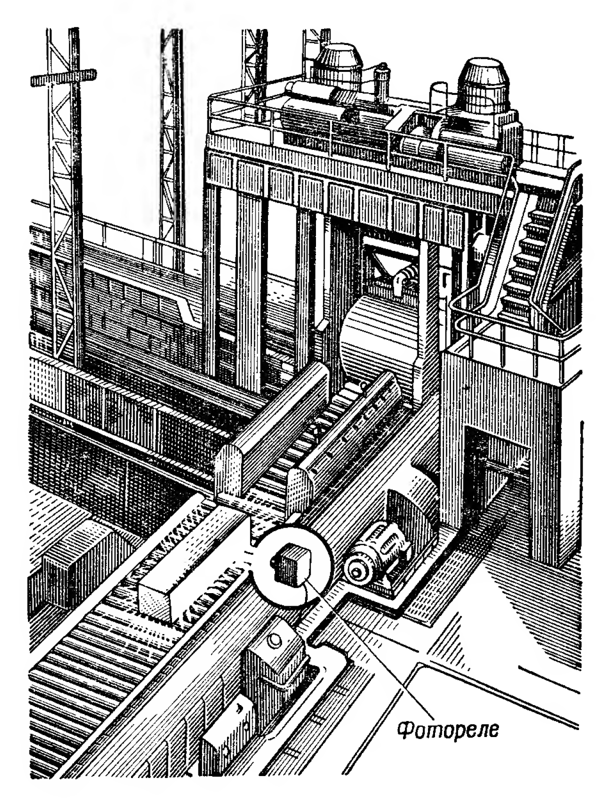



*Рис. 11.* Фотореле на прокатном стане заменяет работу оператора

Валки стана втягивают раскаленную болванку. Все движения прокатного стана совершаются автоматически и согласованно. Что же делает оператор?

Оператор сидит за пультом управления и только наблюдает за действием автоматических приборов и аппаратов. Перед ним на щитке расположены различные из-

мерительные приборы, кнопки, маленькие никелированные рычажки... Но он к ним даже не прикасается. Только когда возникает какая-нибудь неисправность в автоматической аппаратуре, оператор вмешивается в ее работу и устраняет неполадки.

Однако это случается очень редко. «Электрические глаза» работают быстро, четко и безотказно, заменяя тяжелый труд оператора.

На листопрокатных станах особые механизмы, управляемые фотореле, автоматически опрокидывают стальные листы. Как только лист выходит из зоны луча света, воздействующего на фотоэлемент, в последнем образуется фототок, который после усиления включает мощное реле. Реле пускает в ход электродвигатель, приводящий в действие механизм, который опрокидывает стальные листы.

В свете решений XIX съезда Коммунистической партии о всемерной «интенсификации металлургических процессов, автоматизации и механизации металлургических агрегатов...» фотоэлектроника должна найти широкое применение и на других участках прокатного производства.

## Фотоэлектронный пирометр

Фотореле может не только включать или выключать различные механизмы, управляющие работой прокатного стана, но и автоматически измерять температуру раскаленного металла.

Определение температуры стальной болванки при прокате имеет очень важное значение.

Прокатываемый металл должен иметь всегда строго определенную, наивыгоднейшую для данного сорта стали температуру. Недогрев металла опасен, так как при температуре болванки ниже положенной могут поломаться валки прокатного стана. При перегревании металла выше допустимого предела ухудшится качество стали. Измерить температуру раскаленной болванки — дело нелегкое. Обычными приборами, которые служат для измерения температуры нагретых тел, этого сделать нельзя.

От болванки пышет таким жаром, что к ней и близко нельзя подойти, не то чтобы прикоснуться к ней металлическим чехлом специального термометра, рассчитанного на измерение высоких температур.

Температуру огромных раскаленных добела стальных масс измерять можно только издали специальными приборами — пирометрами. Существуют приборы для определения высоких температур — оптические пирометры.

Измерение температуры посредством оптических пирометров производится на глаз.

Рабочий смотрит в трубку пирометра и на фоне раскаленной болванки видит нить электрической лампочки, находящейся внутри прибора. Реостатом он регулирует накал нити, пока она не исчезнет из поля зрения, т. е. пока ее яркость не сравняется с яркостью болванки. Рычажок реостата оптического пирометра при этом устанавливается против определенного деления на шкале, по которой отсчитывается температура.

Но глаза людей имеют различную чувствительность. Поэтому измерение температуры оптическим пирометром не отличается большой точностью. Один человек определил температуру равной, например, 1000 градусам, а другому она кажется меньшей или большей.

Гораздо точнее оптических пирометров работают «электрические глаза» — фотоэлементы.

Фототок сильно зависит от температуры исследуемого металла, и малейшее ее изменение оказывает резкое воздействие на фотоэлемент.

Фотоэлектронный пирометр для автоматического измерения температуры (рис. 12) основан на определении количественного соотношения между красными и синими лучами, излучаемыми раскаленной болванкой.

Спектр света, излучаемого пламенем, расплавленным или раскаленным телом, определяется его температурой.

При более низкой температуре в спектре излучаемого света больше красных лучей и меньше синих. С повышением температуры количество красных лучей уменьшается, а синих — увеличивается.

Перед фотоэлементом помещается вращающийся со строго постоянной скоростью диск (обтюратор), в который вставлены красные и синие стекла — светофильтры. Свет, исходящий от нагретого тела, проходит сквозь светофильтры и периодически попадает на фотоэлемент.

Если в какой-то момент времени перед фотоэлементом окажется синее стекло обтюратора, то на фотоэлемент попадут только синие лучи. Все другие составные

части спектра (в том числе и красные лучи) синим стеклом будут поглощаться и на фотоэлемент не попадут.

В следующее мгновение диск повернется так, что перед фотоэлементом окажется красное стекло. Теперь об-

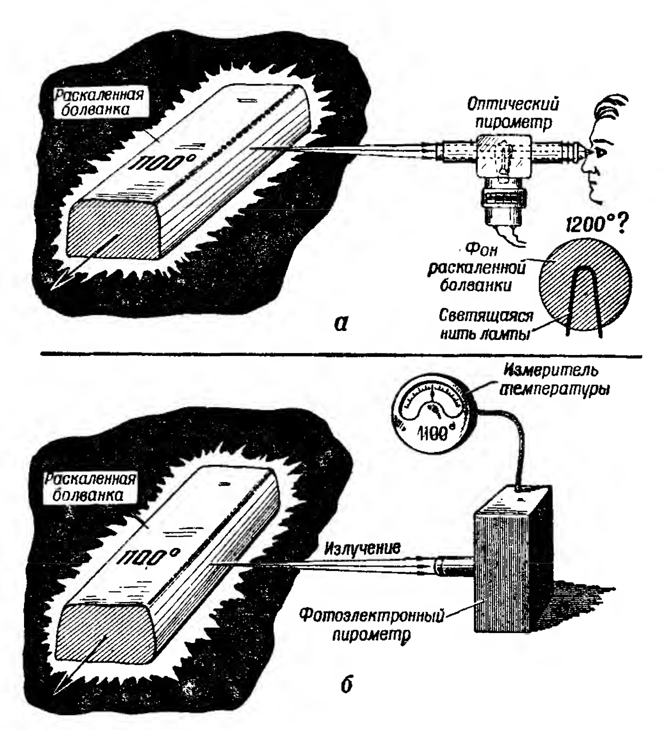



*Рис. 12.* Измерение температуры раскаленной болванки: *а* — оптическим пирометром; *б* — фотоэлектронным пирометром

тюратор пропустит на фотоэлемент только красные лучи спектра.

Как синие, так и красные лучи вызывают в фотоэлементе электрические токи, но различной величины, в зависимости от того, каких лучей (синих или красных) в спектре раскаленного тела больше. Фотоэлектронный пирометр устроен так, что он автоматически оценивает соотношение фототоков, полученных от воздействия красных и синих лучей света, и после усиления направляет их в прибор, показывающий температуру тела в градусах.

Фотоэлектронный пирометр определяет температуру раскаленных тел с большой точностью и практически почти мгновенно.

Точность определения температуры посредством этого замечательного прибора совершенно не зависит от индивидуальных качеств человеческого глаза.

Особенно интересно то, что фотоэлектронный пирометр может измерять и такие температуры, при которых болванка не нагрета докрасна и излучает только невидимые, инфракрасные лучи.

Фотоэлектрический пирометр может вести также и регистрацию измеренных им температур болванок, записывая их на бумажной ленте. По записанным прибором значениям температуры можно всегда установить, как работала бригада, обслуживавшая прокатный стан в течение рабочего дня. Фотоэлектронный пирометр может не только измерять и регистрировать температуру прокатываемых болванок, но и вмешиваться в ход работы прокатного стана, когда это необходимо.

Если температура прокатываемой болванки упала ниже допустимого предела, то фотоэлектронный пирометр автоматически останавливает прокатный стан и дает об этом сигналы обслуживающему персоналу.

Фотоэлектронные пирометры часто используются также для точного и быстрого определения температуры в мартеновских и других плавильных печах.

Они способствуют сокращению времени плавки, позволяя вести ее на форсированном режиме, и одновременно оберегают печь от быстрого износа, устраняя возможность обгорания свода печи.

Таким образом, фотоэлектроника в металлургии не только освобождает сталеваров от хлопотливого ручного регулирования, но и улучшает качество выплавляемого металла благодаря соблюдению правильного температурного режима.

Другая область применения фотоэлектронных пирометров — электросварка.

За последние годы сварка и особенно электросварка получили в СССР огромное развитие, вытеснив склепку.

Даже мощные доменные печи высотой с пятнадцатиэтажный дом теперь делают сварными. Стальной кожух домны всегда сооружался клепальщиками, на это затрачивалось очень много времени; эта работа была самой

трудоемкой при постройке домны. Советские инженеры впервые в мире применили сварку кожуха доменной печи, соорудив в 1948 г. цельносварную домну.

Кроме сварки электрической дугой, в Советском Союзе широко применяется также точечный способ электросварки.

К определенным местам, где при склепывании листов металла обычно ставятся заклепки, подводятся проводники — электроды, по которым пропускается большой

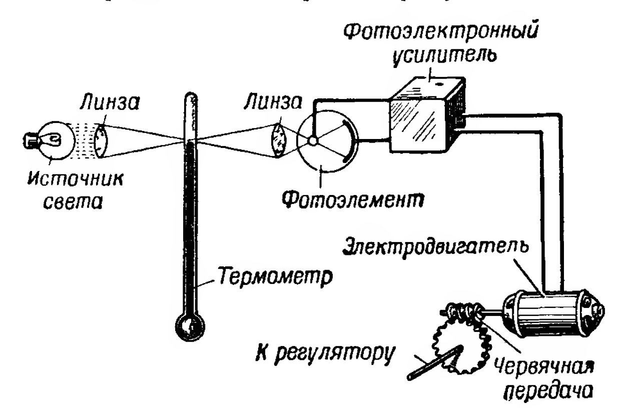



*Рис. 13.* Фотореле автоматически регулирует температуру. При поднятии температуры уровень ртути поднимается и ртуть пересекает луч света, направленный на фотореле, которое воздействует на регулятор температуры

ток. В этом месте металл почти мгновенно расплавляется, и листы свариваются.

Качество сварного шва в значительной степени зависит от температуры. Если температура сварки выше допустимого предела, металл пережигается; при температуре меньше нормы шов получается недостаточно прочным.

В настоящее время разработан фотоэлектронный прибор, который отключает ток от электродов, автоматически прекращая сварку, когда температура свариваемых листов металла достигает необходимого значения.

Посредством специального термометра (с капилляром большого диаметра) и фотореле можно регулировать температуру в помещении (рис. 13).

Автоматическая аппаратура для закалки стальных изделий основана также на применении фотоэлектроники. Благодаря точной выдержке времени закалки и соблюдению температурного режима изделия получаются весьма высокого качества.

## Автоматический контроль размеров

Фотореле может автоматически контролировать размеры изделий не только после их изготовления, но и в процессе производства. Это позволяет своевременно принять меры к устранению неполадок.

Так, при горячей прокатке металлических листов очень важно точно знать ширину полосы металла.

Раньше (до внедрения фотоэлектроники в металлургическую промышленность) ширина полосы определялась только после прокатки, когда листы были уже смотаны в рулоны и направлялись на склад.

Фотоэлектроника же позволяет производить непрерывное измерение ширины полосы в самом процессе прокатки. Для этого на оба края прокатываемой полосы металла от осветителей посылаются узкие пучки световых лучей, направленные в фотоэлементы. Изменение ширины полосы тотчас же вызывает изменение величины фототока.

Если из машины начинает выходить более широкая полоса металла, чем требуется, луч света сразу же затемняется, ток в фотоэлементе уменьшается и фотореле автоматически включает механизмы, управляющие работой прокатного стана.

При уменьшении ширины полосы, наоборот, на фотоэлемент начинает попадать большее количество света, фототок от этого увеличивается и прибор снова срабатывает, увеличивая ширину прокатываемой полосы металла до нормальной.

При фотоэлектронном регулировании работы листопрокатных станов брака почти не бывает. Продукция получается полноценной, высокого качества.

Фотореле широко применяются также и для контроля размеров деталей на металлообрабатывающих предприятиях (рис. 14).

При применении штангенциркулей, микрометров, кронциркулей и других механических мерительных инструментов станок необходимо остановить, измерить деталь

и снова пустить станок в ход. Это отнимает у рабочего много времени и понижает производительность труда.

Фотоэлектроника, позволяющая контролировать размеры обрабатываемых деталей на ходу станка, способствует увеличению производительности труда. При помощи фотоэлектрических приборов легко контролировать размеры и таких изделий, которые обычными механическими методами измерить очень трудно.

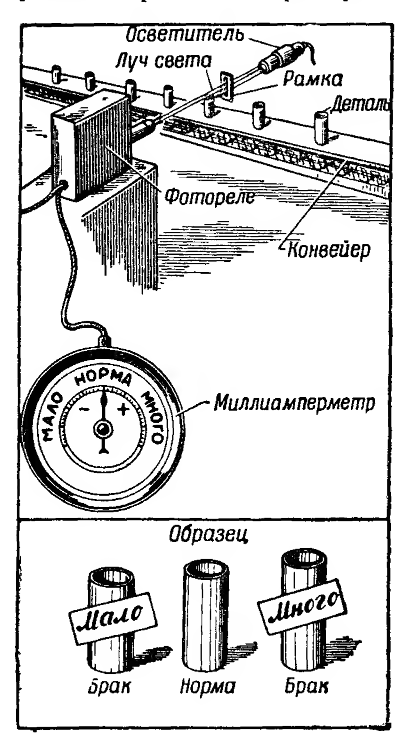



*Рис. 14.* Автоматический контроль готовых деталей на производстве. На рисунке осветитель показан для ясности удаленным от фотореле. На самом деле осветитель находится в непосредственной близости от фотореле

Вот перед вами тончайшая, тоньше человеческого волоса проволока. Можно, конечно, измерить ее диаметр каким-нибудь механическим измерительным инструментом (микрометром и т. п.). Но при этом проволока может деформироваться: достаточно немного посильнее надавить на нее, как она изменит свои размеры и измерение будет неверным. Кроме того, при производстве проволоки, когда тонкая нить перематывается на катушку, очень неудобно каждый раз останавливать машину для измерений. Фотоэлектроника и здесь оказывает большую услугу.

Проволоку протягивают перед фотоэлементом, и она загораживает собой свет от лампочки осветителя. Ясно, что чем толще проволока, тем меньшее количество света попадает на фотоэлемент и, следовательно, тем меньше будет фототок. По показаниям гальванометра, присоединенного к усилителю фототоков, и определяется диаметр проволоки.

Фотоэлектронные приборы работают настолько точно, что ими можно контролировать даже остроту лезвий хирургических инструментов, бритв и т. д.

И здесь фотореле оказывается незаменимым.

Автоматический контроль размеров применим во многих других отраслях промышленности.

При изготовлении резиновой ленты (например, для автомобильных шин) очень важно контролировать ее толщину. Толщина ленты, вырабатываемой машиной, зависит от расстояния между валками. Валки могут сдвигаться или раздвигаться один относительно другого. При сдвигании валков зазор между ними уменьшается и вырабатываемая резиновая лента делается тоньше. При раздвигании валков, наоборот, зазор между ними увеличивается и машина начинает вырабатывать более толстую ленту.

Мастер время от времени подходит к машине, вырезает из резиновой ленты небольшие кусочки и измеряет их толщину.

Если толщина ленты отличается от нормальной, то мастер вручную сдвигает или раздвигает валки машины, пока она не начнет вырабатывать ленту нужного размера. На эту операцию уходит много времени, за которое машина успеет сделать изрядное количество брака.

Фотореле помогает и в этом случае.

Фотоэлектрический прибор может не только контролировать толщину ленты, но и пускать в ход электродвигатель, автоматически изменяющий расстояние между валками машины для того, чтобы получилась лента нужной толщины.

### В помощь рабочему на конвейере

Непрерывным потоком движутся по конвейеру детали. Гайки, например, находятся в бункере, откуда поступают на конвейер для сборки. Рабочему, обслуживающему какой-либо участок конвейера, нужно знать, сколько деталей осталось в бункере, чтобы во-время их добавить. Если он этого не знает, деталей может не хватить и остановится работа на соседних участках конвейера. Луч света на пути прохождения деталей, воздействуя на фотореле, своевременно подает сигнал о том, что детали скоро кончатся. Сигнал этот может быть световым (сигнальная цветная лампочка) или звуковым (электрический зво-

нок). Сигналы привлекают внимание рабочего, который сразу же засыпает в бункер новую партию деталей.

Фотореле не только сигнализирует, но, когда нужно, останавливает конвейер или заставляет его двигаться назад.

Фотореле может контролировать также и правильность сборки деталей. Если необходимо вставить одну цилиндрическую деталь в другую точно по центру, фотореле автоматически будет сигнализировать рабочему, когда деталь установлена неправильно. Рабочий-сборщик своевременно заметит ошибку и тут же исправит ее. Вместо сигнала фотореле может включить механизм, который автоматически исправит ошибку рабочего.

## Автоматические счетчики

На текстильных фабриках очень важно вести непрерывный учет количества выработанной ткани. В любой момент диспетчер или директор ткацкой фабрики должен точно знать, сколько метров ткани выработано текстильными машинами.

Ткани промеряют на особых мерительных машинах; при этом результаты выработки, полученные на мерительных машинах, становятся известными только на другой день. Это крайне затрудняет оперативное руководство работой текстильного предприятия.

Фотореле, устанавливаемое на мерительной машине, позволяет вести учет количества выработанной ткани непрерывно и с большой точностью. С противоположных сторон мерительной машины укрепляются фотореле и осветитель с электрической лампочкой. Луч света, направленный на фотоэлемент, прерывается проходящей через машину тканью. Каждый раз, как мерительная машина уложит два метра ткани, пучок света прервется на некоторое время и фотореле тотчас сработает. От фотореле идут провода к электромагнитным счетчикам, установленным на пульте старшего диспетчера.

Электромагнитный счетчик будет получать импульс тока и передвигать считающий барабан на одно деление при каждом прерывании светового луча.

Следовательно, в любой момент времени можно определить количество выработанной ткани.

Непрерывный учет выработанной продукции при помощи фотореле находит широкое применение не только в текстильной промышленности.

На некоторых металлообрабатывающих предприятиях изделия, проходящие по конвейеру, подсчитываются автоматически также при помощи фотореле (рис. 15).

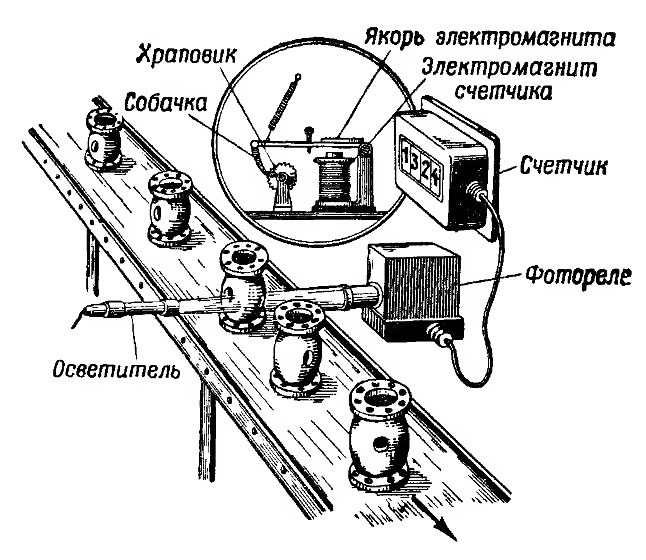



*Рис. 15.* По транспортеру движутся детали, пересекающие луч света, направленный на фотореле. Электромагнитный счетчик (справа) точно подсчитывает количество деталей

Фотореле особенно ценно в тех случаях, когда конвейер движется очень быстро и на глаз сосчитать количество деталей невозможно.

Фотореле безошибочно считает до 1000 и более изделий в минуту.

Фотоэлектронные счетчики найдут большое применение при погрузочно-разгрузочных операциях в новых морских и речных портах. Они будут подсчитывать штучные грузы, передвигающиеся по лентам транспортеров, с такой точностью и скоростью, на которую не способен ни один человек.

## Контроль качества

В огромном залитом солнечным светом цехе завода нескончаемой вереницей движутся блестящие отполированные стальные детали. Одна за другой падают они со станков на длинную ленту транспортера и уносятся к месту упаковки. Там их обертывают бумагой и укладывают в большие ящики. Наполненные новенькими деталями ящики отправляют потребителям.

Но прежде чем упаковывать детали, их надо тщательно проверить: правильно ли выдержаны размеры деталей — длина, высота, ширина; нет ли изъянов — трещин, раковин; достаточно ли хорошо детали отшлифованы и отполированы. От точности обработки деталей зависит качество их работы, когда они будут установлены в машину.

Раньше детали всегда проверялись на глаз опытными браковщиками-контролерами. Тщательно проверяли контролеры каждую деталь, проходящую через их руки. Через лупу они внимательно осматривали проверяемые детали и делили их на годные и негодные. Годные детали отправлялись на упаковку, бракованные — в переделку.

К концу смены контролер сильно устает от напряженной работы и может пропустить брак.

Каждая бракованная деталь, пропущенная контролером по недосмотру, снижает надежность работы машины, в которую она будет установлена. Поломается деталь во время работы — авария неизбежна.

Вот почему так тщательно нужно проверять готовые детали, прежде чем упаковывать их для отправки потребителям.

Стал вопрос, нельзя ли заменить контролера аппаратом, который автоматически браковал бы детали, отделяя годные от негодных? Нельзя ли освободить контролера от напряженной, тяжелой работы?

Это оказалось возможным благодаря применению фотоэлементов.

Еще до Великой Отечественной войны группой инженеров был сконструирован автоматический прибор контроля чистоты полировки поверхностей колец шариковых и роликовых подшипников.

Основной частью этого прибора является фотоэлемент. Луч света падает на деталь, отражается от нее, как от

зеркала, и попадает в фотоэлемент. Если поверхность контролируемой детали не имеет изъянов, света отразится больше, чем от детали с царапинами, раковинами, тусклой, плохо отполированной.

Значит, и фототок в первом случае будет больше, чем во втором.

Стрелка измерительного прибора, присоединенного к фотореле, покажет «Брак» или «Годно» (рис. 16).

Забракованную деталь можно удалить с конвейера вручную, но можно этот процесс и автоматизировать. Для этого надо, чтобы фотореле автоматически включало особый электромагнит, сбрасывающий забракованные изделия с конвейера.

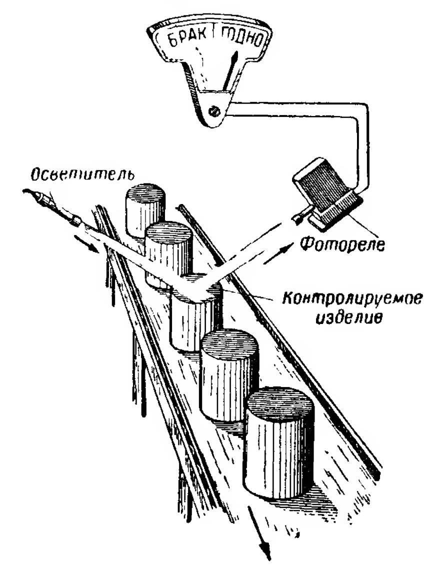



*Рис. 16.* Автоматический контроль качества изделий

Подобные автоматические контролеры применяются на ряде заводов СССР. Так, на одном заводе, изготовляющем эмалированную посуду, такая установка с фотоэлементом разбраковывает эмалированные изделия, у которых невооруженным глазом заметить брак почти невозможно. Небольшая трещинка, незаметный изъян, царапина — и придирчивый «контролер» уже ее замечает. Стрелка прибора, включенного в цепь фотореле, сразу же устанавливается на надпись «Брак».

Контроль готовой продукции при помощи фотоэлектронных приборов дает возможность значительно повысить ее качество.

## Световой контакт

На производстве фотореле с успехом используют для автоматической разбраковки изделий по весу. С обратной

стороны шкалы стрелочных весов укрепляются два фотореле на некотором расстоянии один от другого.

К стрелке весов прикрепляется кусочек непрозрачной бумаги, картона или фольги. На фотоэлементы через вырезанные в шкале отверстия направляются лучи света от осветителей.

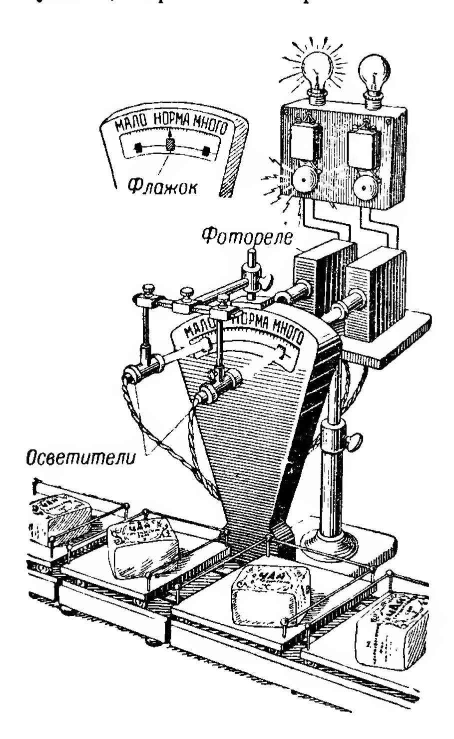



*Рис. 17.* Автоматические фотоэлектронные весы.

На рисунке осветители показаны для ясности удаленными от шкалы. На самом деле осветители монтируются на циферблате весов

Изделие нормального веса проходит по конвейеру не задерживаясь. Стрелка весов при этом стоит на нуле.

Если же изделие весит больше или меньше нормы, стрелка весов отклоняется влево или вправо и перекрывает тот или иной луч света. В результате срабатывает одно или другое фотореле и специальный электромагнитный сбрасыватель удаляет негодное изделие с конвейера. Одновременно включается сигнализация, привлекающая внимание рабочего (рис. 17).

Почему же в автоматических весах применено фотореле, а не простые электрические контакты, которые также могли бы замыкать цепь сигнализации при отклонении веса изделия от нормы?

Дело в том, что для надежного действия стрелка весов должна не просто касаться контакта, а надавливать на него с некоторой силой. Контактное давление должно быть не менее 10—15 *г*. При таком давлении тонкая

стрелочка весов может погнуться и точность измерения будет потеряна.

Если же уменьшить контактное давление, получится недостаточно четкая работа сигнализационного приспособления. Образуется как бы «заколдованный круг»: при уменьшении контактного давления получается нечеткая работа сигнализационного приспособления, а при увеличении его стрелка весов перегружается и может изогнуться, что даст неверные измерения.

Луч света, применяемый в фотоэлектронных весах, не изогнет стрелки, и весы не потеряют в точности измерения ни одного миллиграмма.

Световой контакт применяется не только при автоматическом взвешивании, но и во многих случаях, когда другим способом нельзя осуществить автоматическое замыкание электрической цепи, например в астрономии.

Мы часто проверяем свои часы по радио. Три раза в сутки — в 7, 12 и 19 часов — из астрономического Института имени Штернберга передаются по радио сигналы точного времени.

Точнейшие астрономические часы не допускают применения никаких электрических контактов, иначе нарушится весь ход этого сложнейшего механизма. И здесь для регулирования хода часов применяется фотореле. Каждую секунду маятник часов пересекает луч света и фотореле включает соответствующие механизмы. Ясно, что слабая полоска света между осветителем и фотореле не может оказывать никакого тормозящего воздействия на маятник.

## Автоматы безопасности

Широко и многообразно применение фотоэлектроники в промышленности. Фотоэлектронные автоматы не только помогают увеличению производительности труда рабочих, но и зорко следят за его безопасностью.

При работе на быстроходных штамповочных прессах, на ножницах для резки металла и других станках рабочий по неосторожности может попасть рукой в опасную зону.

Опасная зона «перегораживается» лучом света. Когда рука рабочего случайно попадает в нее, луч света пересекается, фотореле автоматически останавливает пресс

(или другой станок), включая тормоз. И пока рабочий не уберет руки, пресс нельзя будет пустить в ход.

Так фотоэлектроника предупреждает несчастные случаи в металлообрабатывающей промышленности.

Защита от несчастных случаев посредством фотоэлектроники особенно важна в химическом производстве.

При изготовлении некоторых химических веществ ход химической реакции по различным причинам может внезапно нарушиться, что приведет к порче дорогостоящего сырья, а иногда и оборудования. Если рабочий успеет во-время заметить опасные признаки нарушения процесса химической реакции, то он может предотвратить аварию. Начало нарушения процесса химической реакции можно заметить по внешним признакам: изменению температуры, давления, появлению паров веществ и т. п. Нужно очень внимательно и напряженно следить за ходом химической реакции, чтобы своевременно обнаружить опасность.

Фотоэлектроника и тут выручает. При нарушении нормального хода химического процесса фотореле тотчас включает сирену, предупреждающую об опасности, останавливает химическую реакцию и автоматически выливает содержимое из сосуда, в котором происходила реакция.

## Автоматический регулятор уровня

Первый в мире регулятор уровня воды в паровом котле был изобретен знаменитым русским механиком-изобретателем И. И. Ползуновым еще в XVIII веке.

Автоматически действующий регулятор был основан на принципе поплавка. При падении уровня воды ниже нормы поплавок опускался вниз и при помощи прикрепленного к нему металлического стержня открывал кран водопровода. Когда уровень воды вновь достигал нормального, кран автоматически закрывался.

Для больших котлов, чанов, баков, цистерн простой поплавковый регулятор уровня неприменим. Для открывания крана трубопровода в современных установках требуются гораздо большие усилия, чем в котле машины Ползунова.

Поплавки современных регуляторов уровня обычно несут небольшую нагрузку, замыкая лишь электрические контакты, которые включают электродвигатель насоса,

накачивающего воду в котел. Однако гораздо лучше и удобнее вообще отказаться от применения поплавков, заменив их фотореле.

Как же это сделать?

Если с одной стороны бака, в котором надо следить за уровнем жидкости, установить осветитель, а напротив него — фотореле (рис. 18), то задача автоматического регулирования уровня будет полностью разрешена.

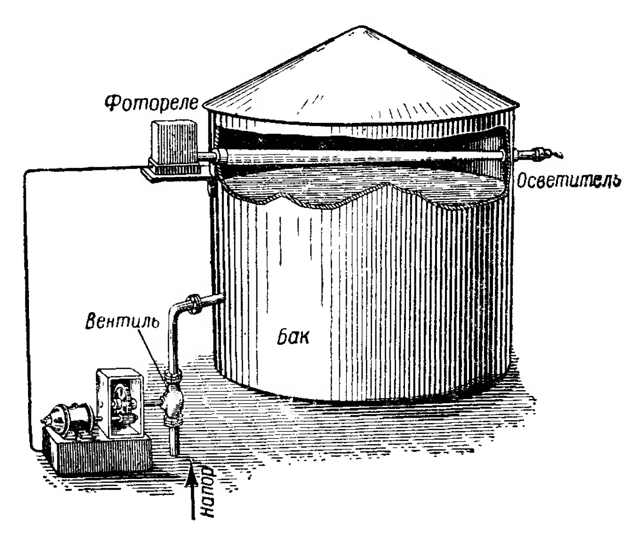



*Рис. 18.* Автоматическое регулирование уровня

Когда бак наполнен жидкостью, луч света на фотореле не попадает совсем (если жидкость непрозрачна) или попадает, но сильно ослабленным (если жидкость прозрачна).

Фотореле отрегулировано так, что оно не действует, пока уровень жидкости нормальный.

Когда жидкость опустится ниже установленного уровня, яркий луч света попадает на фотоэлемент и фотореле включит сигнализацию.

Кроме звуковой или световой сигнализации, могут автоматически пускаться в ход электродвигатели насосов, накачивающих жидкость в резервуар при понижении в нем уровня жидкости. Для автоматического отключения электродвигателей насосов на верхней части баков уста-

навливают еще одно фотореле, которое при наполнении до требуемого уровня выключает электродвигатели. Сигнализатор, таким образом, превращается в автоматический регулятор уровня.

В некоторых фотоэлектронных устройствах луч света перекрывается поплавком, плавающим в небольшом сосуде. Этот сосуд соединен полой трубкой с резервуаром, в котором контролируется уровень.

Фотореле можно применить также для контроля и регулирования уровня сыпучих тел.

Ясно, что при помощи поплавков регулировать уровень какого-либо сыпучего вещества (зерна, угля, руды, песка) невозможно, а фотореле разрешает эту задачу просто.

Описанные установки применимы на любом производстве, особенно в химической, металлургической и горнорудной промышленности.

### Мутномеры

На многих фармацевтических заводах ампулы с лекарственными веществами раньше контролировались на глаз.

В ампуле прозрачная жидкость. В ней нет осадка или мути. Ампула проверена. Она идет в больницу, госпиталь, на медпункт. А вот другая ампула. Она чуть мутновата. Опытный глаз контролера замечает мельчайшие частицы посторонней примеси. Этого достаточно, чтобы ампула с лекарством была забракована.

Много ампул проходит за смену через проворные руки контролера. Но к концу смены глаза устают от напряженной работы, утомленный контролер может пропустить бракованную ампулу.

Автоматические приборы с успехом осуществляют контроль ампул.

«Сердцем» автоматического контролера являются два фотоэлемента. Луч света от одной и той же электрической лампочки делится на две части. Одна половина его через контролируемую ампулу идет в один фотоэлемент, другая — через эталонную (заранее проверенную) ампулу попадает на второй фотоэлемент.

В зависимости от прозрачности раствора через контролируемую ампулу пройдет больше или меньше света.

Мутная жидкость поглотит, рассеет часть световой энергии. Прозрачная, безукоризненно чистая ампула пропустит свет почти без ослабления.

Оба фотоэлемента соединены между собой так, что если контролируемая и эталонная ампула совершенно одинаковы, то суммарный фототок от обоих фотоэлементов получается равным нулю.

При этом фототоки обоих фотоэлементов взаимно компенсируются, так как они равны по величине, но направлены в разные стороны. Фотореле автоматически пропускает годную ампулу дальше на упаковку. Если же контролируемая ампула менее прозрачна, чем эталонная, то в цепи фотоэлементов возникает слабый электрический ток, который после усиления радиолампами воздействует на отбраковывающий механизм. Отбраковывающий механизм немедленно сбрасывает негодную ампулу с конвейера в ящик для брака.

В три раза ускоряется выпуск ампул, десятки контролеров освобождаются от напряженной работы, совершенно исключаются роковые ошибки. Фотоэлектронный автомат неутомимо, быстро и точно контролирует проходящие по конвейеру ампулы с лекарственными растворами.

Не менее важное значение автоматизация контроля мутности имеет в коммунальном хозяйстве. Так, чистота обычной питьевой воды строго контролируется сложными фотоэлектронными приборами. Инженер В. А. Михайлов (Академия коммунального хозяйства РСФСР) разработал и построил автомат, позволяющий с очень высокой скоростью и совершенно точно контролировать прозрачность воды на водопроводных станциях. Благодаря этому прибору питьевая вода отличается высоким качеством.

Часто бывает необходимо контролировать воду, используемую и для технических надобностей. Для того чтобы не образовывалась накипь, вода, поступающая в паровые котлы электростанций, должна быть мягкой, т. е. содержать как можно меньше растворенных солей.

Фотоэлементами с большой точностью контролируется жесткость воды. Для этого в воду подливают ничтожное количество растворов таких веществ, которые ее окрашивают или вызывают помутнение. Контрольную стеклянную трубку, по которой идет вода для питания котлов, помещают перед фотоэлементом на пути луча света.

В зависимости от густоты окраски воды или от ее помутнения на фотоэлемент попадает большее или меньшее количество света. Фотореле включает предупредительную сигнализацию в том случае, если жесткость воды, поступающей в котел, превышает допустимую (рис. 19).

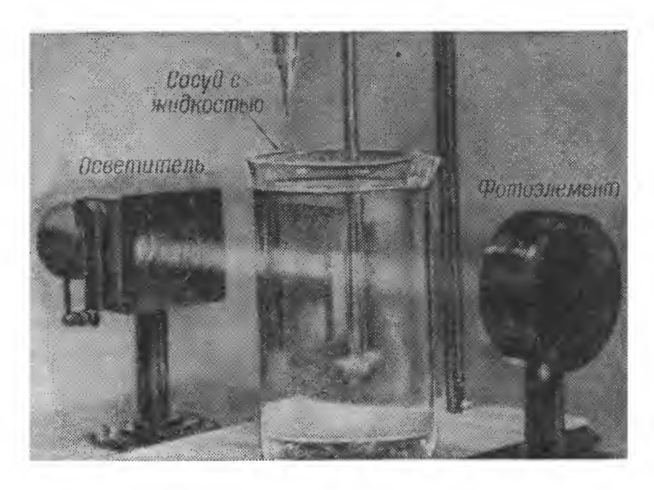



*Рис. 19.* Прибор, определяющий жесткость воды

Фотоэлементы могут контролировать прозрачность не только жидкости, но и какого-нибудь газа или смеси газов, например воздуха.

## Измерители объема частиц

При изготовлении пластмасс, получении пылевидного топлива на теплоэлектростанциях, в цементной промышленности, в производстве граммофонных пластинок очень важно знать размер частиц порошка, так как от этого зависит качество продукции.

Просеивание порошков через различные сита — дело чрезвычайно медленное и кропотливое. Фотоэлемент незаменим и здесь. Порошок смешивается с жидкостью, которая от этого мутнеет. Частицы порошка оседают с разной скоростью: крупные частицы как более тяжелые оседают быстро, мелкие — медленно. Если посредством фотоэлемента измерять мутность на разных глубинах жидкости, то по ее распределению можно судить о размерах частиц порошка.

При помощи турбидиметра — прибора, основанного на различной скорости оседания частиц порошка в жидкости, определяется размер частиц порошка, имеющих диаметр всего лишь до двух микронов. Чувствительность этого прибора при измерениях мутности воды исключительно велика. Прибор в одном литре воды может определить такое количество находящихся в ней примесей, что если их собрать все вместе, то из них образуется кусочек вещества размерами всего в один кубический миллиметр.

Этот замечательный прибор был разработан Московской лабораторией звукозаписи для Апрелевского завода граммпластинок. Он позволил значительно улучшить качество вырабатываемых заводом граммпластинок, которые прессуются из порошкообразных веществ.

## В горном деле

С большим успехом фотоэлементы используются в угольной и горнорудной промышленности. Там они автоматически регулируют и контролируют скорость подъема и опускания клети, целость канатов, управляют шахтной вентиляцией, заслонками бункеров для угля и т. д.

Фотореле может отсортировывать породу от угля и куски угля по их размерам, указывать на наличие в шахте угольной пыли, а также взрывоопасного газа (метана) и ядовитой окиси углерода.

В качестве примера можно привести интересную машину, служащую для обогащения золотой руды. Этот автомат состоит из фотоэлектрической установки и конвейера-отборщика.

Из питающей воронки-бункера руда (золотоносный песок) подается на бесконечную ленту конвейера. Поперек конвейера располагается несколько фотореле. Руда освещается сильными электрическими лампами. Над конвейером помещено несколько всасывающих трубочек. Эти трубочки при помощи электромагнитов могут приближаться к ленте конвейера и засасывать песок с золотыми крупинками. Трубочки соединены с большим закрытым со всех сторон баком, из которого насосом выкачивается воздух. От золота свет лампы отражается лучше, чем от пустой породы, и поэтому фотореле под действием этого света включает электромагниты, приближающие трубочки

только в те моменты, когда под ними проходит богатая золотом руда. В бак попадает засосанный трубками песок. Этот отобранный песок значительно богаче золотом, чем тот, который попадает на конвейер.

### Фотоэлектронный автостоп

Небольшой железнодорожный разъезд в горах. Над путями нависли огромные скалы, занесенные снегом. Дует сильный ветер, низко бегут по небу серые лохматые тучи. Вдаль уходит железнодорожное полотно... На полном ходу к разъезду приближается скорый пассажирский поезд.

Помощник машиниста время от времени выглядывает из окна паровозной будки и всматривается вдаль. Он ясно видит открытый семафор. Поезд мчится.

Над железнодорожными путями за поворотом нависли огромные пласты снега. Но вот яростный порыв ветра, и со скалы срывается ком снега. Снежная лавина скатывается вниз на железнодорожное полотно. Произошел обвал. Путь поезду прегражден, но машинист ничего не знает: обвал произошел за поворотом и машинисту он не виден. Спокойны и пассажиры. Ничего не подозревая, они играют в шахматы, читают книги, пьют чай...

Помощник машиниста выглядывает из окна паровозной будки еще раз и смотрит на близкий теперь семафор. Он все еще открыт. Голова помощника машиниста скрывается в паровозной будке, и в тот же момент семафор закрывается. На разъезде уже известно о случившемся обвале и семафор закрылся, предупреждая поезд о грозящей опасности.

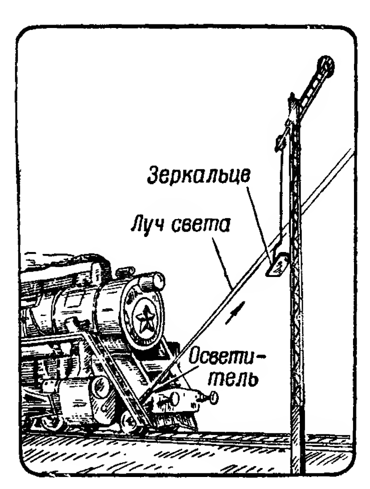
Поезд проскакивает закрытый семафор. Кажется, катастрофа неминуема... Но вдруг происходит резкое торможение и поезд останавливается. Машинист бросается к окну и видит: семафор, мимо которого проехал поезд, закрыт. Из дверей вагонов выглядывают встревоженные пассажиры...

Кто же остановил поезд? Вы, наверное, уже догадались, что поезд остановился благодаря фотореле.

На этом паровозе были установлены фотоэлемент и небольшой прожектор, бросающий вверх узкий пучок световых лучей, а на семафоре — маленькое зеркальце. Если семафор закрыт, то зеркальце располагается под одним углом, а если открыт — то под другим.

При прохождении паровоза мимо закрытого семафора свет от зеркальца отражается вниз и попадает на фотоэлемент (рис. 20). Этого достаточно, чтобы слабый фототок, усиленный в десятки тысяч раз, заставил сработать реле, которое включает тормозной кран. Такова примерная схема фотоэлектронного автостопа.

На железных дорогах, оборудованных автоблокировкой, фотореле может останавливать поезд при появлении



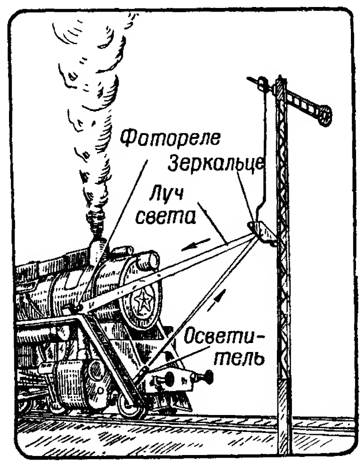




*Рис. 20.* Фотоэлектронный автостоп.

Слева — семафор открыт, и луч света, направленный вверх от установленного на паровозе осветителя, в фотореле не возвращается; справа — семафор закрыт, от зеркальца отражается свет, воздействующий на фотореле, которое включает тормозной кран

красного сигнала светофора, а при желтом сигнале автоматически снижать скорость.

С каждым годом поезда в СССР ходят все быстрее и быстрее. Движение на железных дорогах становится все более оживленным. В резолюциях XIX съезда Коммунистической партии предусмотрен «рост грузооборота железнодорожного транспорта на 1955 год по сравнению с 1950 годом на 35—40 процентов...» Отсюда ясно, какие ответственные задачи встают перед советскими железнодорожниками в отношении четкой и бесперебойной работы транспорта.

Видная роль в деле правильной организации железнодорожного движения принадлежит автоматике, в частности фотоэлектронике.

В недалеком будущем фотореле будет широко применяться на советском железнодорожном транспорте: его можно использовать для автоматической сигнализации на переездах, для счета и сортировки вагонов, автоматического измерения и контроля скорости, автоматической сигнализации о разрыве в пути железнодорожных составов и во многих других случаях.

## Помощник электромонтера

На заводах, фабриках, при освещении улиц, площадей, дворов и т. д. очень важно экономить электроэнергию.

Бывает, что иной раз круглые сутки включено электрическое освещение. На улице уже светло, а лампы все еще горят. Вечером свет включают раньше времени, а утром забывают гасить.

Перерасход электроэнергии на одну лампу, конечно, невелик, но на большом предприятии их несколько тысяч, и поэтому экономия энергии при своевременном выключении получается большая.

Фотореле позволяет осуществить автоматическое включение ламп с наступлением темноты и выключение их, когда становится светло.

Фотореле потребляет ничтожное количество энергии из сети и не требует почти никакого ухода.

Один раз установленное и отрегулированное, оно может работать месяцами.

Фотореле устанавливают так, чтобы в фотоэлемент не попадал свет от тех лампочек, которые оно включает, иначе лампы будут мигать.

* * *

По каналу или по реке идет судно. Заходящее солнце бросает последние лучи. Впереди судна на темнеющей ленте воды — уходящие вдаль бакены с установленными на них фотоэлементами.

---

[1] Бакен — пловучий предостерегающий знак, устанавливаемый для ограждения опасных для плавания судов мест или фарватеров.

Окрашенные в яркие цвета бакены днем хорошо видны с судна. Они отмечают путь, по которому нужно следовать, чтобы не сесть на мель.

Пока дневной свет падает на фотоэлемент, установленный на бакене, его сигнальная лампа выключена. Но вот солнце скрывается за горизонтом. Меркнет день, быстро темнеет. Фототок, вырабатываемый фотоэлементами



*Рис. 21.* С наступлением темноты фотоэлемент включает лампочку бакена, на рассвете лампочка автоматически гаснет

бакенов, постепенно ослабевает. И вдруг, как бы подчиняясь какой-то неслышимой команде, по всему участку канала или реки загораются красные и зеленые сигнальные лампы. Это сработали фотореле, установленные на бакенах: они включили электрические лампы (рис. 21).

Первые такие электробакены, оборудованные фотореле, были разработаны инженерами В. П. Щекиным и М. Т. Синицыным для канала имени Москвы. Автоматические электробакены ярко светят с наступлением темноты и гасят свои путеводные огни на рассвете.

Чтобы свет бакенов было легче отличить от других сигнальных огней, он делается мигающим.

Электрическая лампа бакена то загорается на несколько секунд, то снова потухает благодаря применению двух реле, попеременно включающих и отключающих лампу.

Скоро сияющие гирлянды разноцветных электрических огней, указывающих путь кораблям, протянутся по всем судоходным рекам и каналам нашей великой Родины. Новые каналы, реки и моря, объединенные творческим трудом советского народа в единую воднотранспортную систему, будут оснащены автоматическими устройствами, в которых немалую роль сыграют фотоэлементы.

## В открытом море

В открытом море идет корабль. На борту множество пассажиров; весь его трюм снизу доверху забит тюками и ящиками. Скоро корабль должен прибыть в порт. Осталось совсем немного, несколько часов — и покажутся знакомые родные берега.

У людей радостное, возбужденное настроение. Пассажиры упаковывают свой багаж, команда корабля приводит себя в порядок, готовясь сойти на берег. За штурвалом корабля стоит вахтенный помощник капитана, бросая время от времени взгляд на компас и отдавая распоряжения в машинное отделение.

Стрелка машинного телеграфа указывает на деление «Полный — вперед». И вдруг в полутьме, между штабелями тюков и ящиков, вспыхивает грозный язык пламени. Пожар!

На капитанском мостике немедленно заработала тревожная сигнализация. Казалось бы, надо принимать самые экстренные меры к тушению начавшегося пожара, спускать в море шлюпки с пассажирами, сбрасывать спасательные пояса... Но вахтенный помощник капитана знает, что пожар будет потушен автоматическими пеногонными аппаратами в течение нескольких минут.

И действительно, через некоторое время после тревожных сигналов на капитанском мостике появляется

другой, успокоительный сигнал — вспыхивает зеленая лампочка, означающая, что пожар ликвидирован...

Кто потушил пожар?

Оказывается, что все те же «электрические глаза» — фотоэлементы, зорко охраняющие наиболее опасные в пожарном отношении места на корабле, включили огнетушители.

Как только в фотореле попал первый проблеск пламени от загоревшегося груза, оно немедленно привело в действие автоматические огнетушители и на очаг пожара с шумом обрушились бурные потоки пены. Пожар в трюме корабля был потушен в первые же секунды после появления пламени...

В устройствах управления кораблем, сигнализации и контроля фотоэлектроника находит широкое применение.



Фотореле можно использовать в качестве автоматического «пожарного» не только на кораблях. Это лишь один из многочисленных примеров его применения. На складах, где возможно самозагорание хранящихся там легковоспламеняющихся веществ, химикатов и различных других материалов, фотоэлектронный автоматический «пожарный» окажет неоценимую услугу.

Опасный в пожарном отношении объект разбивается на ряд участков (квадратов). В каждом квадрате устанавливается фотореле, соединенное с автоматическими приспособлениями для тушения пожара.

Пока пожара нет, фотореле не работает, но зорко следит за тем, чтобы в охраняемом помещении не появился огонь. Незначительная вспышка света приводит фотореле в действие. Оно немедленно включает тревожную сигнализацию в помещении пожарной команды, постов охраны и, не дожидаясь помощи извне, включает приспособления, которые тушат начинающийся пожар: автоматически включаются насосы, открываются краны и весь участок, охраняемый фотоэлементом, заливается бурными потоками воды или забрасывается густыми хлопьями пены. В других случаях фотореле может открыть кран специального баллона, наполняющего помещение не поддерживающим горение углекислым газом.

Фотореле может включать сигнализацию и приспособления для тушения пожара не только при вспышке света, но и при появлении дыма. Пожар еще не успел разгореться, огня нет, появился только легкий дымок, а бдительный автомат уже бьет тревогу.

Для автоматического пожарного больше всего подходит фотореле, основанное на применении фотоэлементов с запирающим слоем (см. стр. 16). Это фотореле не требует никакого питания от электрической сети, что очень важно для помещений, где по правилам пожарной охраны или по условиям безопасности запрещена электропроводка.

Пожарную сигнализацию можно оборудовать и без фотореле. Можно, например, установить ртутный контактный термометр. При пожаре температура в помещении поднимается и ртутный столбик замыкает контакты сигнализации. Но лучше все-таки устанавливать фотореле, так как оно срабатывает в самом начале пожара, когда температура в помещении еще не успела подняться настолько, чтобы воздействовать на ртутный термометр.

## Фотоэлектроника в стрелковом спорте

Задача тренировки в стрельбе заключается не только в том, чтобы развить меткость. Одновременно воспитывается способность владеть собой, рассчитывать свои движения, быстро воспринимать внешние впечатления и быстро на них реагировать.

В стрелковом спорте фотоэлектроника может также найти широкое применение. Она дает, например, возможность устраивать такие тиры, в которых стрельба по мишени ведется не пулями, а... лучами света (рис. 22).

В начале книги рассказывалось об устройстве фотоэлектронного ружья.

Как и в обычных стрелковых тирах, установленных в парках, садах и клубах, где стрельба ведется из пневматического ружья, при попадании луча света точно в центр мишени фотореле включает какой-нибудь пружинный автомат, электрический звонок или цветную сигнальную лампочку. Чтобы создать подобие звука выстрела, можно устроить так, что при нажатии на спусковой крючок освободится защелка и стальная плоская пружина с си-

лой ударит по дощечке, расположенной в прикладе ружья.

Конечно, фотоэлектронный тир не может полностью заменить стрелковые тиры и полигоны, в которых ведется стрельба по мишеням из винтовок или пистолетов.

Траектория полета пули, как известно, не прямая линия и прицеливаться приходится чаще всего ниже центра мишени.

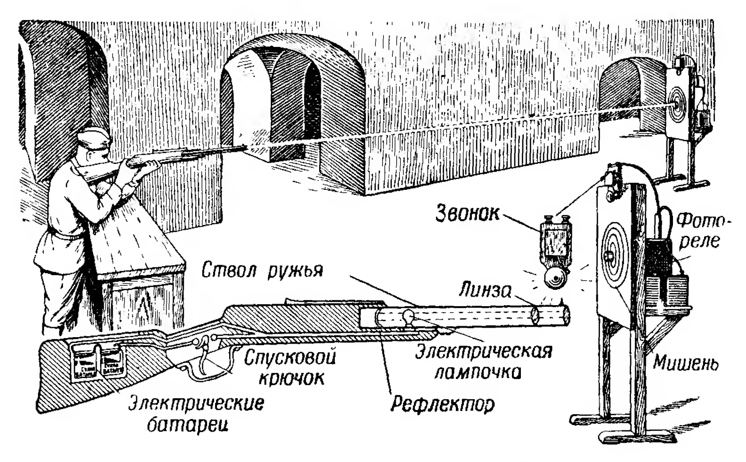



*Рис. 22.* Стрельба лучами света

В фотоэлектронном же тире прицеливаться нужно только в центр мишени, так как луч света представляет собой строго прямую линию.

Поэтому фотоэлектронный тир может быть пригоден лишь для начального обучения стрельбе и для тренировки.

Его можно устраивать в любом помещении, он дешев, и стрельба в нем совершенно безопасна.

## Фотоэлементы отсчитывают время и определяют скорость

Советские спортсмены: бегуны, мотоциклисты, конькобежцы — лучшие в мире. И среди них почетное место принадлежит спортивным коллективам Советской Армии. На спортивных состязаниях они ставят не только обще-

союзные, но часто и мировые рекорды, ведя упорную борьбу за доли секунды.

Точность отсчета времени старта и финиша на спортивных состязаниях имеет очень большое значение. Определением времени обычно занимаются спортивные судьи, которые нажимают кнопки очень точных часов — секундомеров, позволяющих отсчитывать время до десятых долей секунды. Одно нажатие кнопки секундомера приводит в действие большую секундную стрелку, и она начинает двигаться по циферблату часов, второе нажатие останавливает стрелку.

Спортивные судьи нажимают кнопку секундомеров рукой. Увидев, как бегун, достигнувший финиша, разрывает цветную шелковую ленточку, протянутую поперек беговой дорожки, судья торопится нажать кнопку секундомера.

Однако скорость нервной реакции у разных людей различна: один судья может нажать кнопку секундомера с одним запозданием во времени, а другой — с другим.

Гораздо более точно определяют время старта и финиша автоматические приборы, основанные на применении фотоэлементов.

Ленты, протягиваемые поперек беговой дорожки, заменяются лучом света. С одной стороны беговой дорожки устанавливается осветитель, создающий направленный пучок световых лучей, с другой — фотореле. При пересечении луча света фотореле включает электромагнит, нажимающий кнопку секундомера.

Фотореле автоматически отмечает время старта и финиша с точностью до сотых долей секунды (рис. 23).

Такие приборы можно использовать на автомобильных, мотоциклетных и велосипедных гонках, а также на скачках и бегах.

Фотоэлектронные приборы могут не только засекать время старта и финиша, но и автоматически измерять скорость передвижения бегуна или мотоциклиста на каком-либо участке пути

Ясно, что если на пути передвижения спортсмена установить два фотореле на некотором расстоянии одно от другого, то сначала спортсмен пересечет луч света, направленный на одно из фотореле, а затем — направленный на другое. Так как оба фотореле установлены на

вполне определенном расстоянии, то по разнице во времени пересечения обоих лучей света можно измерить скорость передвижения спортсмена.

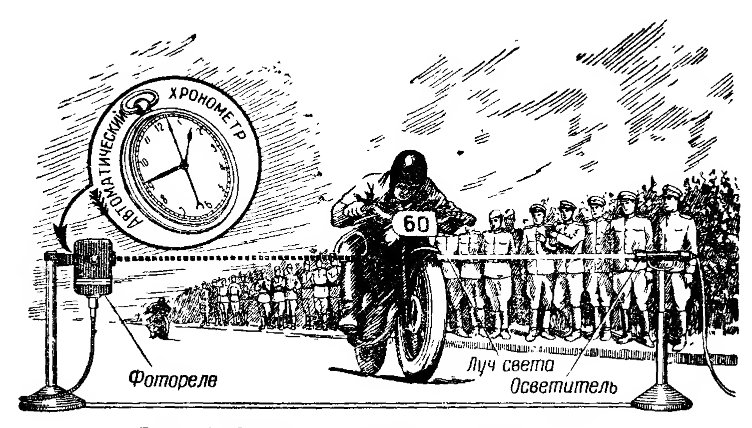



*Рис. 23.* Фотореле отмечает время финиша

Таким путем можно с большой точностью определять также скорость движения грузовых и легковых автомобилей, паровых и электрических поездов, пароходов и других видов транспорта.

## Невидимый барьер

В лесу на поляне белеют палатки. Здесь расположен лагерь допризывников. Уже ночь, и лагерь спит. Не отдыхает только охрана, бдительно всматриваясь в темный покров ночи и прислушиваясь к лесным шорохам. Все спокойно и тихо. Посторонних поблизости нет.

Вдруг в тишине ночи раздался звук электрического звонка. Дежурный охраны посмотрел на номерник.

Звонок уже прекратился, а в номернике выпала цифра 5. Это значит, в пятом участке охраняемой зоны что-то произошло. Кто-то приблизился к лагерю и пытается проникнуть через изгородь... Включается прожектор, заливающий ярким светом участок, в котором произошло нарушение.

Напуганный светом прожектора зверь (это был волк) шарахнулся в сторону и скрылся в чаще леса. Опять все спокойно...

Кто же помогает часовому бдительно охранять покой спящих?

Вместо собак, которые своим лаем могут разбудить спящих, здесь действует фотореле.

Невидимыми, инфракрасными лучами «опоясана» вся территория лагеря. В разных местах охраняемой зоны установлены фотореле, на которые падают пучки невидимого света от замаскированных электрических лампочек или от маленьких прожекторов.

И как только этот невидимый луч света будет кем-либо пересечен, фотореле немедленно включит тревожную сигнализацию (электрические звонки, сирену, мигающие лампочки) для привлечения внимания охраны.

Источник света можно замаскировать в стене здания, в сторожевой будке, на дереве, в муравьиной куче, в пеньке и везде, где, в зависимости от обстановки, это удобно.

Чтобы лучи света были невидимыми, отверстие прожекторов (или других осветителей) плотно закрывают фильтрами, не пропускающими видимых лучей света.

С первого взгляда никто не сможет догадаться, что территория охраняемой зоны опоясана невидимым барьером из инфракрасных лучей.

Невидимые лучи могут многократно отражаться от зеркал, укрепленных в самых неожиданных местах: на столбике, стенке соседнего здания, на пеньке срубленного дерева, на изгороди.

Они могут огибать всю территорию охраняемой зоны и, наконец, попадают в фотоэлемент, который, как и прожектор, тщательно маскируется.

Для отражения лучей в качестве зеркал используются также отполированные металлические пластинки (например, из белой жести).

В некоторых случаях вместо одного луча света можно устанавливать два или три, расположенных в шахматном порядке.

При нескольких лучах, «протянутых» вдоль охраняемой зоны, надежность действия будет еще больше. Правда, в этом случае необходимо придумать устройство, которое позволило бы фотореле «отличать» переползающего человека от перебегающего зайца, лисицы или пролетающей птицы.

Разумеется, фотореле способно охранять не только большие территории лагерей, но также и отдельные здания или комнаты. Незаметно перегородив барьером из невидимых лучей любую дверь, можно быть уверенным, что никто через нее не пройдет, не вызвав сигналов тревоги.

Фотоэлектронные «сторожа» могут найти применение для охраны банков, больших магазинов, складов, промышленных предприятий, музеев и т. д.

И, конечно, важное значение имеет применение фотоэлектронных «сторожей» для охраны военных объектов.

Использование для охраны сторожевых собак связано с большими расходами, и замена их фотореле может дать большие выгоды.

### Фотоэлектронный «экскурсовод»

На различных выставках, в клубах, музеях, учебных заведениях можно установить интересный прибор, который автоматически будет рассказывать посетителям об устройстве и принципе действия экспонатов.

Перед выставочным стендом или перед витриной укрепляются осветитель и фотореле так, чтобы луч света (лучше невидимый — это будет интереснее) перегораживал путь к витрине (рис. 24). Фотореле соединяется с магнитофоном. На ленте магнитофона заранее записана речь экскурсовода.

Как только посетитель подойдет близко к витрине и пересечет луч света, фотореле автоматически включает магнитофон и посетитель слышит объяснение устройства и принципа действия экспоната. Как только посетитель отошел от экспоната, магнитофон автоматически выключается, и фотореле «ждет» нового посетителя.

Такой автоматический «экскурсовод» будет очень полезен при индивидуальных посещениях выставок, музеев и т. п.

Кроме магнитофона, могут включаться различные световые надписи, поясняющие назначение и действие выставленных экспонатов.

Подобные установки применимы и для автоматического включения рекламного освещения внутри магазинов, когда к ним приближается покупатель.

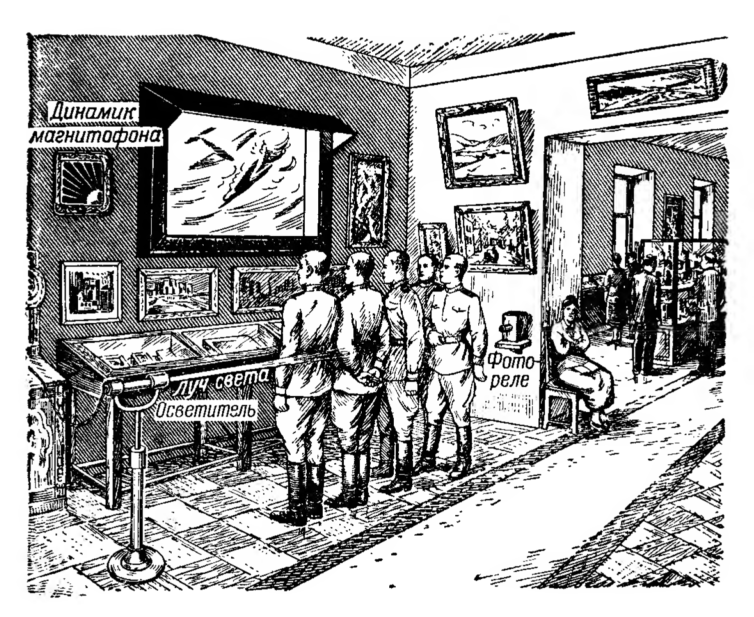



*Рис. 24.* Фотоэлектронный „экскурсовод"

## Фотоэлемент и цвет

Если вы попробуете перечислить все известные вам оттенки цвета, то вряд ли наберете их больше сотни: розовый, темнорозовый, красный, оранжевый, светлооранжевый, темножелтый, темносиний, лиловый и т. д. На самом же деле, если учесть все возможные оттенки, различаемые нашим глазом, можно набрать не только сотню, но и все десять тысяч оттенков.

Но, оказывается, «электрический глаз» — фотоэлемент — способен различать еще большее количество оттенков.

Вот перед нами два образца красного шелка, отрезанных от разных кусков материала. Вы можете их рассматривать при дневном свете, вечером, при электрическом освещении — и не заметите никакой разницы.

Оба кусочка материи на глаз покажутся совершенно одинаковыми. Но «электрический глаз» заметит между ними разницу и просигнализирует об этом.

До двух миллионов оттенков цвета способны различать некоторые типы фотоэлементов. Эта цифра намного превышает те потребности в определении тончайших оттенков цвета, которые встречаются в жизненной практике.

Фотоэлектронный анализатор цвета может иметь большое применение в военном деле.

С одной стороны, с его помощью можно подбирать необходимые цвета красок, а с другой,— анализировать уже существующую окраску объектов.

Выбор наиболее подходящей защитной окраски тканей, маскировка объектов воздушного нападения, подбор краски для кораблей, позволяющей маскировать их под цвет моря, и ряд других областей применения может иметь в военном деле фотоэлемент, различающий цвета.

Фотоэлементы, реагирующие на оттенки цвета, незаменимы в отраслях промышленности, изготовляющих краски, цветные чернила, тушь и т. д.

Способность фотоэлемента различать цвета используется также во многих других отраслях промышленности.

«Электрический глаз» может сортировать пищевые продукты, качество которых часто связано с их цветом.

В пищевой промышленности существуют автоматические машины для разбраковки по цвету кофейных бобов.

Хорошо прожаренные бобы проходят беспрепятственно по конвейеру и ссыпаются в соответствующую тару. Пережаренные бобы, которые могут дать кофе плохого качества, проходя перед фотоэлементом, отражают меньшее количество света, чем полноценные. Фотоэлемент приводит в действие металлический палец, отбрасывающий негодные зерна в специальный желоб.

Другой фотоэлемент такую же операцию производит с плохо прожаренными зернами, направляя их через другой желоб обратно в печь, на доработку.

С таким же успехом фотоэлемент проверяет по цвету качество муки, определяя содержащийся в ней процент отрубей.

Разработан аппарат, автоматически определяющий процент содержания гемоглобина в крови путем анализа пучка световых лучей, пропущенных через исследуемую кровь.

Этот способ более точен, чем все существовавшие до сего времени методы определения гемоглобина в крови

и позволяет делать анализ очень быстро, увеличивая производительность труда сотрудников аналитических лабораторий.

## Фотоэлемент и звук

Находясь в зрительном зале кинотеатра, вы видите изображение на экране и одновременно слышите различные звуки: разговор, шум улицы, веселую песню, пение птиц...

Все эти звуки слышны только благодаря фотоэлементам.

Не будь фотоэлементов, не было бы и современного звукового кино. Совсем недавно, 20—25 лет назад, звукового кино не существовало.

Кинокартины в то время были немыми, с пояснительными надписями, и даже кино называлось тогда «великим немым».

Но вот, благодаря работам советских ученых — А. Ф. Шорина, П. Г. Тагера, В. Д. Охотникова, «великий немой» заговорил.

Как же устроено звуковое кино?

Если посмотреть кусочек кинопленки на свет, то, кроме изображения, которое проектируется на экран, видны еще какие-то ряды черточек различной длины. Это звуковая дорожка — записанные на пленке звуки кинофильма.

При демонстрации кинофильма через эту «дорожку» пропускается луч света от электрической лампы, дающей свет постоянной яркости.

Проходя через движущуюся звуковую дорожку кинопленки, свет лампы падает на фотоэлемент. В зависимости от длины черточек на звуковой дорожке на фотоэлемент попадает то больше, то меньше света.

В фотоэлементе под действием этого мигающего света возникает пульсирующий, т. е. непостоянный по величине, электрический ток.

Этот ток усиливается и из усилителя поступает в громкоговоритель. В громкоговорителе колебания фототока превращаются в те звуки, которые были записаны на кинопленке.

## Как работает фототелеграф

В полевых условиях может потребоваться передача на расстояние копий различных документов, карт местности, донесений разведки, приказов и распоряжений.

Роль связного играет в данном случае замечательный аппарат — фототелеграф.

В мирное время он используется для связи между крупными городами. По фототелеграфному аппарату можно передать любое письмо, фотографию, картину, чертеж и т. п. на расстояние в сотни и тысячи километров. Полученное изображение будет точной копией переданного.

Передача неподвижных изображений на расстояние основана на применении фотоэлементов и производится по проводам или по радио.

Изображение, подлежащее передаче (чертеж, рисунок, схема), накладывается на передающий барабан (см. левую часть рис. 25). Этот барабан вращается со строго определенной постоянной скоростью вокруг своей оси и в то же время медленно передвигается вдоль нее.

Световой луч от мощной лампочки накаливания падает на барабан через собирательную линзу маленькой яркой точкой.

Когда эта точка попадает на белый участок изображения, то свет от нее отражается почти полностью и, падая на фотоэлемент, вызывает в нем большой электрический ток.

Когда же световая точка попадает на темные линии чертежа или рисунка, то бо̀льшая часть света поглощается и ток фотоэлемента по сравнению с предыдущим сильно уменьшается.

Это и понятно, так как белые участки передаваемого рисунка или чертежа отражают свет лучше серых, а серые — лучше черных.

Таким образом, отраженный пучок света постоянно меняет свою яркость, т. е. мигает.

Ток фотоэлемента также будет изменяться в соответствии с изменением света, отраженного от передаваемого изображения.

Изменяющийся ток фотоэлемента усиливается ламповым усилителем.

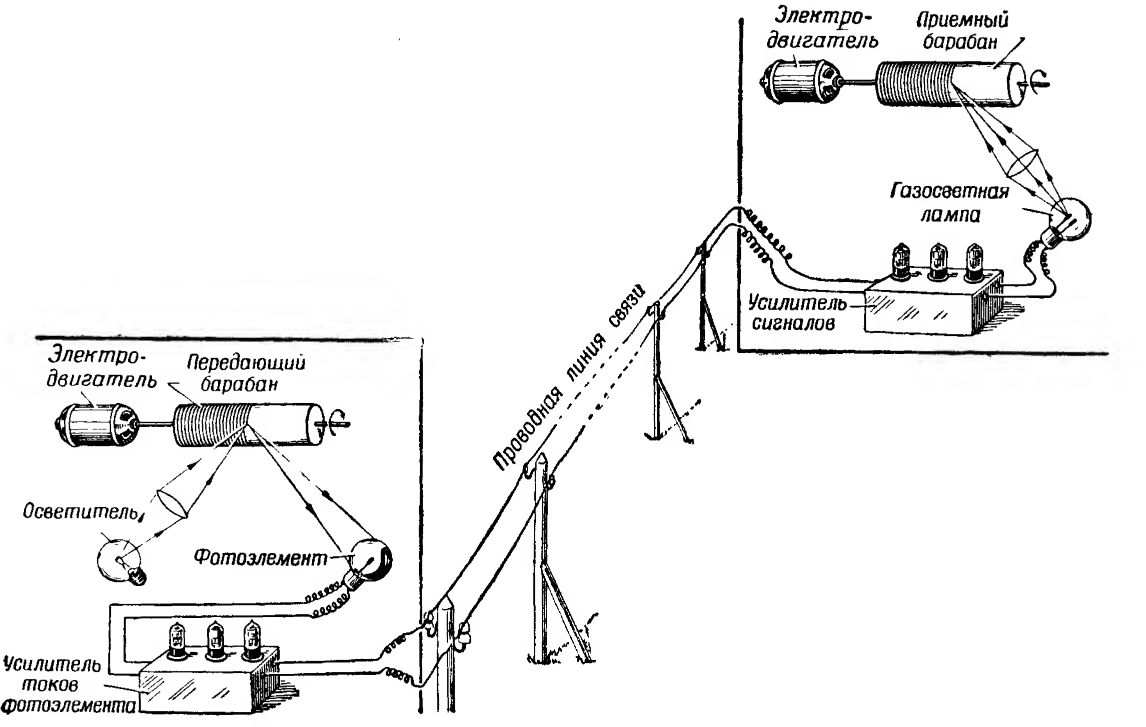



*Рис. 25.* Схема фототелеграфной связи по проводам

Передаваемое изображение разбивается на мельчайшие точки; свет, по-разному отражаясь от каждой точки, превращается в электрический сигнал и передается по проводам или по радио в пункт приема.

При вращении передающего барабана направленный на его поверхность световой луч как бы прочерчивает на нем линию. Яркая световая точка пробегает по окружности барабана, на котором укреплено передаваемое изображение. За один оборот световая точка обегает барабан один раз. После каждого оборота барабан сдвигается влево и световая точка чертит новую яркую линию, но уже рядом.

Величина сдвига, на которую перемещается барабан после каждого оборота относительно световой точки, равняется ее диаметру.

Прием изображения происходит при помощи точно таких же механизмов. Приемный барабан (правая часть рисунка 25) такой же, как передающий, и вращается с той же скоростью (синхронно). Он обернут обычной фотографической бумагой.

Принятые сигналы изображения подаются на усилитель фототелеграфного аппарата. Этот усилитель управляет специальной, так называемой газосветной лампой. Газосветная лампа представляет собой небольшую стеклянную колбочку, внутри которой помещаются две маленькие металлические пластинки.

К этим пластинкам подводится ток от усилителя. Сама колбочка наполнена инертным газом — аргоном или неоном.

Как только на пластинки будет подано электрическое напряжение от усилителя, газ между пластинками начнет светиться. При этом газ будет светиться то сильнее, то слабее в зависимости от изменения силы сигналов в усилителе.

Свет этой лампы при помощи линзы направляется узким сходящимся в одну точку пучком на фотографическую бумагу, которой обернут барабан приемного аппарата.

Световая точка газосветной лампы перемещается вдоль оси приемного барабана с точно такой же скоростью, как и на передающем устройстве.

Поэтому все электрические сигналы, соответствующие определенным точкам передаваемого изображения, пре-

вратятся в газосветной лампе в световые сигналы различной интенсивности и запишутся на фотографической бумаге приемного аппарата в той же последовательности, как и на самом изображении.

Когда все изображение будет принято, бумагу снимают с приемного барабана и проявляют в фотолаборатории, как обычные фотографические снимки. Проявленное изображение будет точной копией переданного.

В других конструкциях фототелеграфных аппаратов вместо газосветной лампы используют электрическую лампочку, луч света которой пропускают между двумя пластинками особого конденсатора (керр-конденсатора). Он обладает свойством изменять яркость пропускаемого сквозь него луча света в зависимости от величины напряжения на его пластинках.

В СССР фототелеграфные аппараты, кроме передачи фототелеграмм, нашли еще одно очень интересное применение.

Каждый день сотни тысяч экземпляров центральных газет («Правда», «Известия», «Комсомольская правда» и другие) отправляются во все города и села нашей необъятной Родины.

Их везут по железным дорогам, на автомобилях, самолетах.

Бывает, что газеты поступают к читателю на третий-четвертый день, а в Дальневосточном крае газету получают только на восьмой-десятый день со дня выхода ее в Москве.

Благодаря фототелеграфу в далеких уголках нашего Союза газеты «Правда» и «Известия» могут быть получены в день выхода их в Москве.

В настоящее время фототелеграфные линии связывают Москву с Ленинградом, Свердловском, Ташкентом, Новосибирском и с другими городами.

Как же происходит передача газет? Экземпляр газеты разрезается на определенное количество частей — бланков. Бланки накладываются на барабан фототелеграфного аппарата и передаются. На приемном аппарате принимается изображение печатного текста.

Когда вся газета передана, части ее склеиваются.

Полученный экземпляр свежей газеты поступает в типографию.

Там изображение газеты переводится на клише и печатается на типографской машине. Передавать изображения можно не только по проводам, но и по радио.

## Телевидение

Одной из наиболее интересных областей применения фотоэлектроники является видение на расстоянии — телевидение («теле» в переводе с греческого означает «далеко», и, следовательно, иначе телевидение можно назвать дальновидением).

Прибор для приема изображений — телевизор — по внешнему виду напоминает радиовещательный приемник. На передней стенке телевизора находится экран, на котором появляются различные изображения. Вы видите на экране телевизора артистов театра, слышите их голоса, музыку, смотрите кинофильмы, спортивные состязания на стадионе и многое другое.

Как же происходит передача на расстояние движущихся изображений?

Каждый предмет можно себе представить состоящим из целого ряда точек — элементов изображения. Изображение предметов складывается из отдельных элементов так же, как, например, мозаичная картина составляется из кусочков разноцветных камней. Чем мельче камешки в мозаичной картине и чем их больше, тем картина получается более точной.

Так и в телевидении. Чтобы получить изображение в телевизоре, нужно передать точка за точкой последовательно изображение всего предмета. И чем меньше размер этих точек, тем точнее будет передано изображение.

В отличие от фототелеграфии, где изображение на приемном барабане становится видимым только после проявления фотобумаги, в телевидении изображение появляется на экране почти мгновенно, в момент его приема по радио.

В фототелеграфных аппаратах изображение передается точка за точкой в течение некоторого промежутка времени. Этот промежуток времени в фототелеграфии совершенно произволен, и технически безразлично, будет ли изображение передано в 10, 20 или даже в 60 секунд.

В телевидении же промежуток времени, в течение которого передающий аппарат воспринимает предмет, подлежащий передаче, должен быть очень мал.

Ведь если мы хотим наблюдать движущееся изображение, переданное по радио, то должны видеть его не точка за точкой, а все сразу. Вопрос этот был бы неразрешим, если бы не одно благоприятное обстоятельство. Дело в том, что человеческий глаз сохраняет зрительное впечатление в течение примерно 0,1 секунды после того, как лучи света уже перестали в него попадать. Луч света исчез, изображения нет, но глаз все же продолжает его видеть и видит то, чего уже нет, в течение 0,1 секунды. Это подобно тому, как мы не можем различить отдельных спиц быстро вращающегося велосипедного колеса, воспринимая его в виде полупрозрачного сплошного диска.

На инерции нашего зрительного аппарата основано и кино. В кино на экране показывают 24 изображения (кадра) в секунду, а мы видим их как слитное изображение.

Так же и в телевидении: если точки изображения передавать очень быстро, то мы не заметим последовательности в их передаче и будем воспринимать их все сразу, как слитную целую картину.

Существует несколько систем телевидения. Одна из них — механическая система (с диском Нипкова) — дает неясные низкокачественные изображения, хотя по конструкции очень проста и остроумна.

В диске пробиты отверстия, расположенные по спирали (рис. 26). Перед диском помещена неподвижная ограничивающая рамка.

Свет, отраженный от передаваемого изображения, проходит через линзу и ограничивающую рамку, попадая через отверстия в диске на фотоэлемент, расположенный по другую сторону диска. При вращении диск последовательно через все отверстия пропускает свет, отраженный от передаваемого изображения, на фотоэлемент.

Благодаря расположению отверстий по спирали они одно за другим проходят перед рамкой в разных ее частях. Таким образом, все точки площади рамки попеременно как бы прочерчиваются лучом света.

Фотоэлемент превращает свет в электрические сигналы, которые усиливаются фотоэлектронным усилите-

лем во много раз и поступают на передающую радиостанцию.

Усиленные электрические сигналы излучаются антенной радиостанции в пространство и воспринимаются антенной радиоприемника телевизора.

После усиления принятых радиосигналов они поступают в неоновую лампу, установленную перед диском приемного устройства — телевизора.

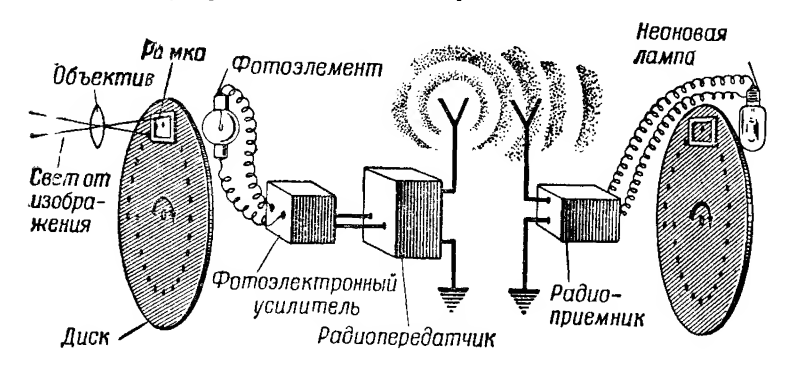



*Рис. 26.* Механическая система телевидения

Диск приемного устройства точно такой же, как и передающего, и благодаря особому приспособлению вращается с той же скоростью (синхронно).

С другой стороны диска расположена ограничивающая рамка, в которую смотрит наблюдатель.

Неоновая лампа вспыхивает то ярче, то слабее в зависимости от интенсивности принятых сигналов.

В момент, когда на фотоэлемент передающего устройства падает яркий свет, отраженный от передаваемого изображения, электрический сигнал заставляет неоновую лампу ярко вспыхивать.

Когда через отверстие в диске передатчика на фотоэлемент поступает слабый свет, отраженный от темных частей передаваемой картины или движущегося изображения, интенсивность электрических сигналов уменьшается и неоновая лампа почти затухает.

Через отверстия вращающегося диска наблюдатель рассматривает быстро мигающую в такт приходящим сигналам неоновую лампу.

Хотя в каждый момент времени передается только одна светящаяся точка (отверстие в диске перед неоновой лампой), благодаря инерции глаза наблюдатель видит изображение целиком.

Так, в игре света и тени возникает перед нашими глазами передаваемое изображение.

Кроме конструкции с диском, существуют и другие системы механического телевидения (с зеркальным винтом, барабаном и т. д.).

Все системы механического телевидения, несмотря на их простоту, имеют существенные недостатки. В них, например, очень невыгодно используется световая энергия. Чем больше число отверстий в диске, тем на большее число точек разбивается передаваемое изображение и тем, казалось бы, изображение должно быть более отчетливым. Но этого не получается, так как вместе с увеличением числа отверстий уменьшаются размеры точек и, следовательно, уменьшается и без того ничтожный световой поток.

Значит, очень мелкие отверстия в диске делать нельзя, а крупные отверстия ухудшают качество изображения.

Чтобы при достаточно мелких отверстиях диска получить от фотоэлемента значительный фототок, необходимо применять особо высокочувствительные фотоэлементы, реагирующие на ничтожные световые потоки, и мощные усилители фотоэлектрических токов.

Но в усилителях создаются собственные паразитные токи, которые могут перекрывать по своей величине те ничтожные фототоки, которые они должны усиливать.

В результате на приемном конце радиолинии получается расплывчатое и настолько неясное изображение, что многие его подробности не видны совершенно.

От этих недостатков свободны электронные системы телевидения.

Электронная система телевидения основана на другом принципе. Разложение изображения на элементы осуществляется в особом приборе, носящем название иконоскопа («иконо» означает «изображение», «скоп» — значит «собирать», «накапливать»).

Свет, отраженный от освещенного предмета, через объектив попадает в большую стеклянную колбу, из которой выкачан воздух (рис. 27). Внутри этой колбы по-

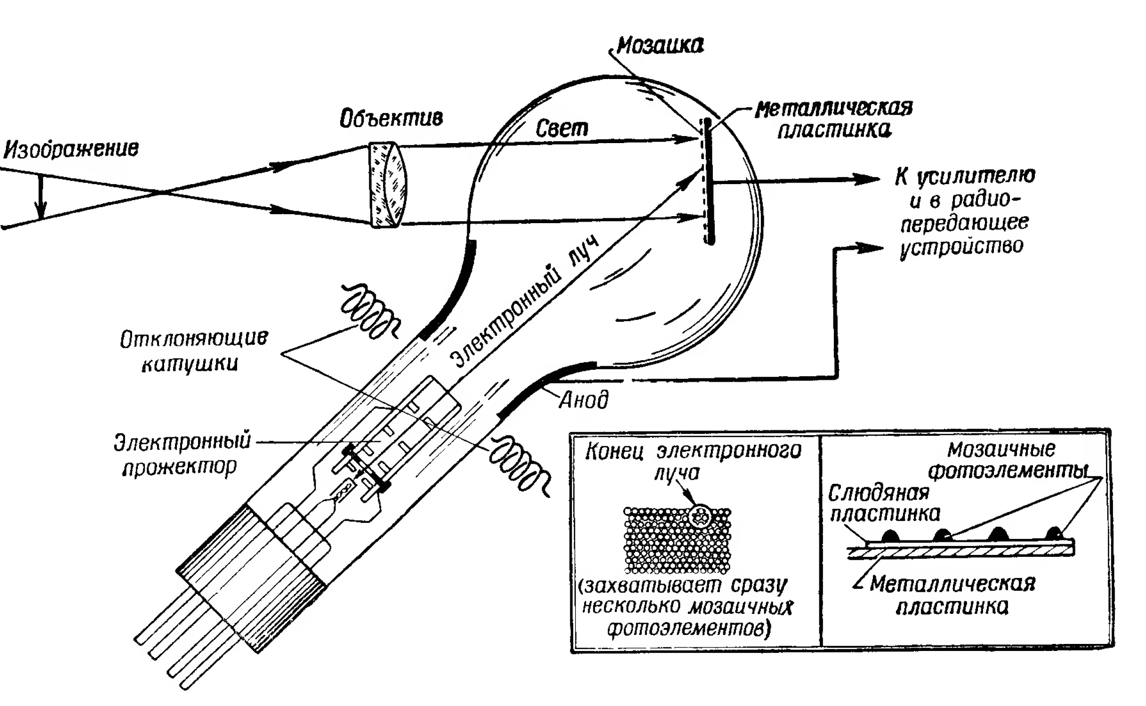



*Рис. 27.* Схема электронного телепередатчика

мещена очень тонкая пластинка слюды, на которую нанесены микроскопические крупинки светочувствительного вещества. Крупинок несколько миллионов, и каждая из них является крошечным фотоэлементом, превращающим свет в электрический ток.

Размеры фотоэлементов чрезвычайно малы. Они в десятки раз меньше зернышка пшена и в целом составляют мозаику. На мозаичную пластинку попадает свет, отраженный от предмета, изображение которого надо передать на расстояние.

Свет выбивает из мозаичных фотоэлементов электроны, которые притягиваются положительно заряженным анодом. Роль анода выполняет металлический слой, нанесенный на внутреннюю поверхность колбы.

Что же происходит с мозаичными фотоэлементами после того, как из них вылетят электроны, выбитые световыми лучами?

Теряя электроны, фотоэлементы приобретают положительный заряд. Уместно вспомнить опыт профессора Столетова, в котором он освещал цинковую пластинку ярким потоком света электрической дуги. Будучи незаряженной, пластинка под действием света приобретала положительный заряд, так как она теряла электроны, отчего электрическое равновесие ее атомов нарушалось. Следовательно, если мозаичные фотоэлементы теряют электроны, то они при этом заряжаются положительно, но в разной степени: одни — сильнее, другие — слабее. Мозаичные фотоэлементы, которые подверглись воздействию более яркого луча света и которые, следовательно, потеряли большее количество электронов, приобретают больший электрический заряд. Те же фотоэлементы, на которые упали лучи света от менее освещенных точек изображения, получают меньший электрический заряд. Так как свет от изображения попадает на всю мозаику сразу, то оптическое изображение превращается на ней в электрическое.

Изображение как бы рисуется на мозаичной пластинке, но только оно не световое, не видимое, а электрическое.

На мозаике непрерывно создается точная копия изображения, состоящая из крохотных электрических зарядов различной величины.

С обратной стороны мозаичной пластинки находится тонкая металлическая обкладка, играющая роль общей

пластины конденсатора. Таким образом, каждый мозаичный фотоэлемент является в то же время и миниатюрным конденсатором, накапливающим положительный заряд, который он получил под воздействием световых лучей.

Дальнейшей задачей является передача электрических зарядов с мозаичной пластинки по радио в приемное устройство, на телевизор, где происходит обратное превращение их в световые точки, которые в целом и должны составить изображение предмета.

Если передавать все точки изображения сразу, то для этого понадобится столько радиопередатчиков и радиоприемников, на сколько элементов разложено изображение, т. е. несколько миллионов. Это, конечно, невозможно. Поэтому изображение передают последовательно, точка за точкой, один элемент за другим.

Как же осуществляется последовательная передача элементов изображения?

В колбе иконоскопа помещена тонкая металлическая нить из тугоплавкой проволоки, которая, как и в обычных радиолампах, накаливается электрическим током.

Известно, что лучи света, пропущенные через оптические стекла — линзы, можно собрать (сфокусировать) в тончайший пучок.

Но можно ли собрать в один луч электроны, беспорядочно вылетающие из раскаленной нити катода?

Специальное устройство, называемое электронным прожектором, состоящее из заряженных электричеством пластинок особой формы — электронных линз, — собирает электроны в узкий пучок, в электронный луч.

С гигантской скоростью, достигающей 30 000 километров в секунду, собранные в пучок электроны летят на мозаичную пластинку.

На пути к пластинке электронный луч попадает в магнитное поле, создаваемое электромагнитными катушками. Магнитное поле одной пары катушек отклоняет электронный луч вверх или вниз, а другой — влево или вправо.

При помощи особого устройства эти магнитные поля автоматически изменяются так, что конец электронного луча может «скользить» по мозаике в нужном направлении.

Электронный луч беспрерывно «бегает» по мозаичным фотоэлементам. Его конец как бы прочерчивает невидимыми линиями строку за строкой.

Когда электронный луч прочертит своим концом всю мозаичную пластинку сверху донизу, все повторяется сначала.

Следовательно, мозаичные фотоэлементы подвергаются двойному воздействию: на них действуют и лучи света, поступающие через объектив от передаваемого изображения, и бегающий луч электронного прожектора.

Что же происходит с мозаичными фотоэлементами, когда на мозаичной пластинке «нарисовано» электрическое изображение?

Бегающий по поверхности мозаики электронный пучок разряжает мозаичные фотоэлементы. Только они успеют под действием света зарядиться, как электронный луч тотчас их разряжает.

Это и не удивительно, так как электронный луч, состоящий из отрицательных зарядов, нейтрализует положительные заряды мозаики. Таким образом, мозаичные фотоэлементы один за другим разряжаются двигающимся по их поверхности электронным лучом.

Токи разряда мозаичных фотоэлементов непрерывно усиливаются радиолампами и в определенной последовательности передаются по радио. Телеприемное устройство (телевизор) воспринимает радиосигналы передатчика.

В телевизоре отдельные электрические разряды фотоэлементов мозаики, переданные в виде радиосигналов, снова превращаются в световые точки, которые складываются в видимое изображение. Как же устроен и действует телевизор?

Основной частью телевизора является электроннолучевая трубка (кинескоп).

Электроннолучевая трубка — это стеклянная колба (рис. 28), по внешнему виду напоминающая графин с плоским дном. Воздух из трубки выкачан, а в горловине ее помещен катод трубки.

Из катода вылетают электроны, создающие, как и в иконоскопе, узкий электронный луч. Электроны этого луча с огромной скоростью пролетают внутри трубки и ударяют в ее дно.

Дно трубки изнутри покрыто особым веществом, светящимся под действием электронного луча. То место на дне трубки, в которое ударяет электронный луч, начинает светиться зеленоватым или синеватым цветом.

Как и в иконоскопе, электронный луч подвижен. Под воздействием электрического поля, создаваемого отклоняющими пластинами, или магнитного поля катушек он перемещается по экрану.

Скорость перемещения луча по экрану трубки достигает 100 километров в секунду и более.

Принимаемые по радио сигналы телепередатчика меняют интенсивность электронного луча. От этого меняется яркость свечения экрана трубки. Изменения яркости точно соответствуют освещенности точек передаваемого изображения.

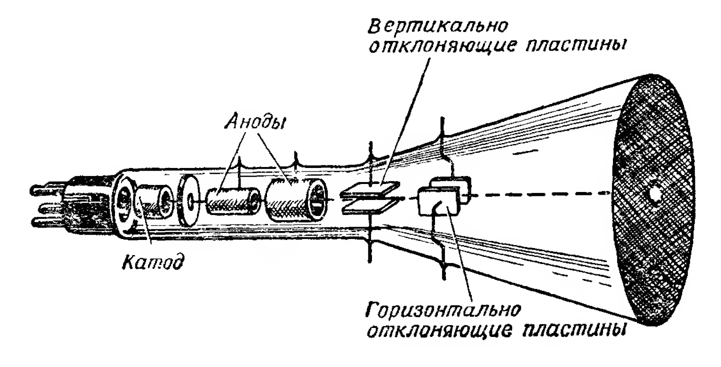



*Рис. 28.* Электроннолучевая трубка

В момент передачи ярко освещенного элемента изображения радиосигнал сильнее, интенсивность электронного луча больше и свечение экрана в том месте, где падает луч, ярче. При передаче темных точек изображения электронный луч очень слаб и свечения экрана не вызывает.

Электронный луч можно сравнить с карандашом, который строчка за строчкой рисует на дне трубки различные рисунки. Если смотреть на дно трубки снаружи, можно наблюдать то ярко светящиеся точки, то линии, полосы и различные фигуры, «прочерчиваемые» электронным лучом. Но «карандаш» этот особый. Отдельные точки рисунка, нарисованные этим «карандашом», живут лишь одно мгновение. Электронный луч непрерывно скользит по дну трубки. Стоит ему переместиться в другое место, как свечение в той точке, куда он только что падал, почти сразу же прекращается.

От числа строк, которые прочерчиваются электронным лучом на экране, зависит четкость изображения: чем больше строк, тем лучше изображение. Московский телевизионный центр передает изображение с четкостью 625 строк. За границей же самые лучшие телепередатчики дают только 525 строк, и изображение получают там более низкого качества.

В Москве, на Шаболовке, возвышается красивая ажурная металлическая башня. У основания башни находится здание Московского телевизионного центра. Телевизионный центр — это одновременно и театр, и киностудия, и мощная радиостанция.

Телепередатчики, установленные в автомобилях, могут передавать изображения со стадионов, парков, улиц, площадей, новостроек и любых других мест. Радиосигналы с передвижных телепередатчиков поступают в телецентр, там они усиливаются и затем обычным путем передаются на телевизионные приемники.

Советские ученые непрерывно работают над повышением четкости изображений. От 625 строк, на которые разлагается передаваемое изображение, ученые и изобретатели нашей Родины стремятся перейти к телевидению в 1000—1200 строк. Увеличится также и чувствительность телепередатчиков, что позволит проводить телепередачи не только при ярком свете электрических ламп или при дневном освещении, но даже в сумерки или ночью при лунном свете. Размеры экранов телевизоров будут еще более увеличены, и изображения на них станут более отчетливыми и яркими. Будут разработаны системы, позволяющие видеть на еще большем расстоянии, чем сейчас.

В настоящее время на расстоянии в несколько десятков километров от телевизионного центра на экранах телевизоров ясно и отчетливо воспроизводятся кинофильмы, передачи из театра, со стадиона, из студии. Но все это пока в одном цвете!

Нельзя ли видеть изображения в их естественных красках, нельзя ли, как в кино, передавать на экраны телевизоров цветные кинофильмы, осуществить цветное телевидение?

Советская наука, самая передовая и прогрессивная в мире, решила и этот вопрос.

Телевидение будет не только плоским, но и объемным, как стереокино, не только одноцветным, но и цветным. Цветное телевидение особенно интересно.

При помощи специальных устройств можно получить изображение в натуральных красках.

* * *

Представим себе стоящий на столе телефонный аппарат. Вы снимаете трубку автоматического телефонного аппарата и набираете номер абонента, с которым хотите разговаривать. Произошло соединение, и вы беседуете с человеком, находящимся на расстоянии многих километров от вас.

Но как было бы хорошо не только слышать, но и видеть своего собеседника!

Возникает вопрос: почему бы каждый телефонный аппарат не снабдить миниатюрным телепередатчиком и небольшим телевизором, чтобы на его экране можно было отчетливо видеть разговаривающего с вами по телефону и чтобы он видел вас?

Такие опыты давно уже ставились и дали отличные результаты. Однако видящие телефоны пока еще очень сложны и дороги. Задача наших изобретателей состоит в том, чтобы упростить и уменьшить размеры видящих телефонов и удешевить их изготовление.

Телевидение уже внедряется на заводах и фабриках.

Всем известно, что за последнее время в Советском Союзе широко применяется управление машинами и механизмами на расстоянии. На центральный диспетчерский пункт, с которого ведется управление на расстоянии, передаются показания измерительных приборов. По показаниям измерительных приборов диспетчер судит о работе машин и механизмов, удаленных от него на большое расстояние. Однако самих управляемых установок он при этом не видит. Одни только измерительные приборы еще не дают ясной картины того, что происходит где-то вдалеке от диспетчера.

Телевидение может принести большую пользу на производствах с очень высокой температурой, не позволяющей рабочим непосредственно наблюдать процесс производства, а также на заводах, где происходят вредные для здоровья рабочих химические процессы. Вместо того, чтобы рабочему дышать вредными газами, он будет на-

ходиться в светлой просторной комнате и оттуда управлять автоматическими машинами и механизмами. На экране телевизора он будет видеть, как работают машины-автоматы, и, когда это потребуется, вмешается в их работу, нажимая электрические кнопки и поворачивая выключатели и рычаги.

Труд рабочего, управляющего такими машинами, становится особенно интересным. Это почетный труд человека социалистического общества, которое создает новую высокую технику управления на расстоянии.

Телевидение можно применить для исследования морей и океанов. На очень больших глубинах давление воды так велико, что его не может выдержать ни один водолаз.

В таких случаях водолазы в большом стальном шаре — батисфере — опускаются вниз. Но это небезопасно для жизни и здоровья человека. Канат может случайно оборваться, стальной шар дать трещину, и гибель неминуема.

Оказывается, и на дно океана можно опустить телепередатчик. Его «электрические глаза» с большой точностью передадут наверх все, что видно на любой глубине. Они обшарят каждый уголок на дне океана, а люди, не подвергаясь никакой опасности, будут спокойно и внимательно наблюдать с борта парохода за всем, что происходит на неизведанной глубине.

Подобные опыты проводились уже давно и дали очень интересные результаты.

Интереснейшие пейзажи морского дна посредством телепередатчика можно будет автоматически заснять на кинопленку и передавать по радио. На экранах телевизоров мы увидим глубоководных морских животных, рыб и остатки затонувших кораблей.

Водолазы, достающие со дна моря затонувшие корабли, получат замечательного помощника. Телепередатчик, опущенный на дно моря, быстро разыщет нужные предметы. На долю водолаза останется только наблюдение за работой телепередатчиков и управление подъемными устройствами и механизмами.

Телевидение уже давно пытались применять и для военных целей. Так, осуществлялись установки для передачи в штаб того, что «видел» аппарат на передовой линии фронта.

Велики заслуги русских ученых в развитии телевидения. Русские ученые А. С. Попов, А. Г. Столетов, П. И. Бахметьев и Б. Л. Розинг заложили основы телевидения. В советское время телевидение получило широкое распространение.

За выдающиеся достижения в разработке новых приборов для телевидения большая группа советских инженеров и ученых удостоена звания лауреатов Сталинской премии.

Телевидение в Советском Союзе, как и вся наша советская наука и техника, непрерывно совершенствуется и развивается на пользу народу, строящему коммунистическое общество.

## Торпеда с «электрическим глазом»

Торпеда — мощное оружие. Она представляет собой большой самодвижущийся подводный снаряд, который выбрасывается в воду из торпедного аппарата подводной лодки, катера, миноносца или самолета.

Сигарообразное металлическое тело торпеды, начиненное сильным взрывчатым веществом, быстро идет под водой при помощи двигателя, работающего от сжатого воздуха. Управляемые автоматическими приборами рули заставляют торпеду идти вперед по заданному курсу и на заранее установленной глубине.

При встрече с препятствием — кораблем — торпеда ударяется в него головной частью и взрывается, производя большие разрушения. Но и техника кораблестроения не стоит на месте, и способы защиты кораблей от торпед все более и более совершенствуются. Один из способов защиты кораблей от разрушающего действия торпед состоит в удалении наружных бортов корабля от его «жизненных частей». Образовавшееся пространство делится на отсеки и заполняется водой или жидким топливом. Борта корабля, таким образом, защищены, но его днище все-таки остается незащищенным.

Это обстоятельство используется атакующими, которые выпускают свои торпеды с таким расчетом, чтобы они не ударялись о борт корабля, а взрывались под кораблем.

Торпеда в этом случае взрывается не при ударе, а другим способом. Ударный (контактный) взрыватель заменяется у таких торпед неконтактным.

Конструкций неконтактных взрывателей много. Одни из них воспринимают, например, звуковые колебания, приходящие от корабля-цели, другие «ощущают» изменение электрического поля, что всегда происходит вблизи корабля.

В иностранной печати сообщалось о применении в торпеде фотоэлектрического взрывателя. Как только торпеда попадает в тень от корабля, фотоэлемент действует на ее рули. Управляемая фотоэлементом торпеда автоматически поворачивается, ныряет под днище корабля и взрывается.

## «Видящие» снаряды

Не только торпеды, но и артиллерийские снаряды могут быть снабжены фотоэлементами.

По внешнему виду фотоэлектрические взрыватели для снарядов очень похожи на обычные пороховые взрыватели и также навинчиваются на головку снаряда. Однако устройство их другое.

Фотоэлектрический взрыватель описан в журнале «Новости техники» № 8 за 1947 г.

В обычной пороховой дистанционной трубке, как известно, при выстреле из орудия воспламеняется кольцеобразная пороховая ленточка. Когда эта ленточка догорит до конца, происходит взрыв.

В фотоэлектрических взрывателях пороховой ленточки не нужно. Взрыв происходит при приближении снаряда к цели.

Фотоэлектрический взрыватель для снаряда состоит из трех основных частей: оптической линзы, фотоэлемента и усилителя фототоков.

Линза устроена так, что во время полета снаряда она собирает свет со всех сторон. Лучи света, попадающие в линзу, преломляются так, что, проходя через кольцеобразную прозрачную щель, они фокусируются на катоде фотоэлемента.

Выстреленный из орудия снаряд летит к цели. Через прозрачный колпачок внутрь взрывателя попадает свет (рис. 29). Фотоэлемент превращает этот свет в электрическую энергию. Электрический ток, вырабатываемый фотоэлементом, поступает в усилитель, в котором он усиливается.

Однако этот усиленный ток не производит никакого действия на снаряд, летящий по направлению к цели, до тех пор, пока он не приблизится к ней на определенное расстояние.

За счет отражения лучей света от цели в линзу начинает попадать больше световой энергии, чем раньше. Фототок, вырабатываемый фотоэлементом, резко меняется, и усилитель еще больше увеличивает его. Напряжение, развиваемое усилителем, внезапно повышается, и взрыватель приводится в действие.

Снаряд взрывается и поражает цель.

Может возникнуть вопрос: не взорвется ли снаряд на земле, до выстрела из орудия, поскольку на него со всех сторон попадает множество различных световых лучей?

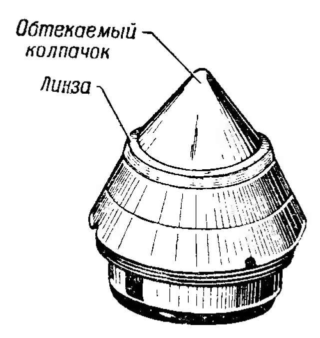



*Рис. 29.* Фотоэлектрический взрыватель

У фотоэлектрического взрывателя имеется предохранительное устройство, которое не позволяет снаряду взорваться до выстрела.

Но это еще не все.

Допустим, что снаряд с фотоэлектрическим взрывателем пролетел мимо цели и не взорвался. На этот случай в снаряде устроен особый механизм, называемый ликвидатором. Ликвидатор автоматически взрывает снаряд в воздухе, если он пролетит мимо цели.

Интересно устроена линза, собирающая свет на фотоэлемент. Линза сделана из очень прозрачного особого (органического) стекла, прекрасно пропускающего световые лучи. Органическое стекло не бьется, оно по структуре упругое и вязкое, и более мягкое, чем обычное стекло.

При выстреле, когда в снаряде развиваются огромные механические напряжения, линза из органического стекла не трескается и не разбивается.

Дело, однако, не только в материале линзы, но и в ее форме. Линза фотоэлектрического взрывателя выточена так, что передает не любой свет на фотоэлемент, а только тот, который направлен под определенным углом.

Для питания взрывателя используется цилиндрическая батарейка, напоминающая батарейку от карманного фонаря.

Энергии этой крохотной батарейки вполне хватает, так как она работает всего несколько секунд, пока снаряд летит от орудия до цели.

## Фотоэлектронный телескоп

Темной ночью по шоссе мчится автомобиль с затемненными фарами. Несмотря на непроглядную тьму, шофер уверенно делает крутые повороты так, как будто он способен видеть в темноте. Каким же путем достигается такая изумительная способность водителя автомобиля?

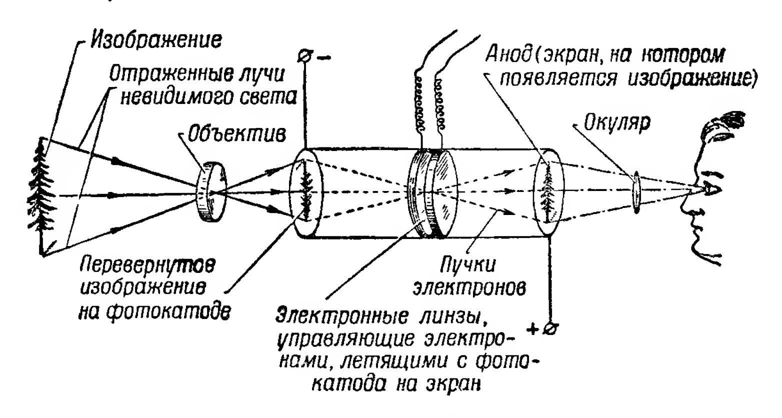



*Рис. 30.* Схема действия фотоэлектронного телескопа

Все с помощью тех же «электрических глаз». Рядом со щитком автомобиля в кабине шофера установлен небольшой экран, на котором виден путь. Шофер даже не смотрит на дорогу. Все его внимание приковано только к этому чудесному экрану.

Фары автомобиля закрыты фильтром, пропускающим лишь невидимые глазом инфракрасные лучи. Эти лучи и «освещают» дорогу.

Как же устроен фотоэлектронный телескоп — этот необыкновенный прибор, позволяющий видеть в темноте?

Фотоэлектронный телескоп (рис. 30) основан все на тех же явлениях превращения света в электрический ток, изучением которых занимался выдающийся русский

ученый А. Г. Столетов. Самая важная часть прибора — преобразователь, превращающий невидимое изображение в видимое. Преобразователь помещается в стеклянном стаканчике, из которого удален почти весь воздух.

Когда инфракрасные лучи от автомобильных фар падают на дорогу, то они, как и видимые лучи, отражаются от ее поверхности.

Часть отраженных лучей попадает в объектив электронного телескопа.

Стеклянные линзы объектива направляют «пойманные» лучи на стеклянный стаканчик преобразователя. Лучи свободно проходят через заднюю стенку стаканчика и ударяются о тончайшую пленку светочувствительного металла — цезия, нанесенную на внутреннюю стенку преобразователя.

Инфракрасные лучи, отраженные от предмета и собираемые объективом, дают на цезиевой пленке такое же перевернутое изображение предмета, как и видимые лучи света на матовом стекле фотоаппарата, т. е. получается перевернутое «вверх ногами» изображение.

Однако перевернутое изображение, получающееся на цезиевой пленке, невозможно увидеть. Это не видимое изображение, а электронное. Инфракрасные лучи, падая от предмета через объектив на пленку, только выбивают из нее электроны.

В тех местах пленки, куда попал более яркий свет, электронов выбивается больше, в местах менее интенсивного облучения — меньше.

Покинув атомы цезия, электроны с огромными скоростями летят на противоположную стенку стеклянного стаканчика. Это экран, покрытый слоем люминофора — вещества, светящегося под ударами обрушивающихся на него электронов.

Экран светится в точках, в которые ударялись электроны.

На экране вырисовывается яркое видимое изображение предмета. Это свечение напоминает по своему виду свечение фосфоресцирующего вещества, которым иногда покрывают цифры и стрелки на циферблате карманных и ручных часов.

Под влиянием каких сил электроны летят на экран?

Экран соединяется с положительным полюсом электрической батареи, имеющей напряжение в несколько ты-

сяч вольт. Таким образом, экран играет роль анода этого «видящего» фотоэлемента. Отрицательный полюс этой же батареи соединяется с цезиевой пленкой, являющейся фотокатодом.

В таком мощном электрическом поле электроны, выбитые лучами из фотокатода, испытывают очень сильное притяжение к положительно заряженному экрану.

На пути к экрану электроны проходят через так называемые электронные «линзы», которые представляют собой находящиеся под напряжением металлические пластинки различных форм и размеров.

Линзы, воздействуя на электроны, заставляют их лететь на экран не беспорядочно, а по определенному пути.

Перевернутое изображение, которое «рисуют» инфракрасные лучи на фотокатоде, электронные линзы превращают в нормальное.

Чтобы из перевернутого изображения предмета получить нормальное, электроны с нижних участков катода должны ударяться в верхнюю часть экрана и, наоборот, электроны, сорванные с верхней половины цезиевого слоя, должны попадать на нижнюю часть экрана.

Электронные линзы управляют электронным потоком, который, попадая на экран, «рисует» на нем точную (одноцветную) копию невидимого изображения, спроектированного объективом на фотокатоде.

Так как картина на экране электронного преобразователя получается уменьшенной, то между экраном и глазом помещается обычный окуляр — увеличительная лупа.

Эти изумительные приборы, позволяющие видеть в полной темноте, могут быть использованы для обеспечения безопасности сухопутного и морского транспорта: предотвращения столкновений кораблей при навигации по узким каналам, рекам, при входе в порт и т. д.

### Фотоэлектронный теплообнаружитель

Фотоэлектроника нашла применение и для обнаружения в темноте различных предметов, излучающих инфракрасные лучи.

Эти лучи излучаются любыми нагретыми телами: зданием, фабричной трубой, паровозом, пароходом и т. д.

Особенно много инфракрасных лучей излучают тела, нагретые до сравнительно высокой температуры (трубы тепловых электростанций, промышленные здания и т. п.).

Поймать и усилить лучи, излучаемые самими нагретыми (часто до незначительной температуры) телами, гораздо сложнее, чем воспринять и усилить луч, отраженный от тех или иных предметов.

Сложнее потому, что энергия собственного излучения тел ничтожна и рассеивается во все стороны одинаково. До приборов, «видящих» в темноте, доходит только миллионная доля того количества тепловой энергии, которое излучается данным телом.

Фотоэлементы для обнаружения слабо нагретых тел в темноте миниатюрны (рис. 31). Так, некоторые типы фотоэлементов имеют активно действующую поверхность всего в 0,0027 квадратных сантиметров. Такой ничтожный по размерам фотоэлемент легко умещается в фокусе небольшого параболического зеркала.

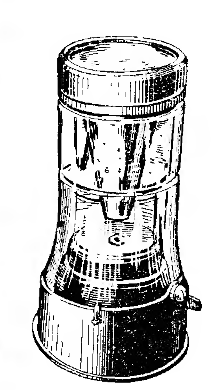


*Рис. 31.* Миниатюрные фотоэлементы, воспринимающие на большом расстоянии тепловые излучения слабо нагретых тел (увеличены)

Другие типы фотоэлементов (сульфидно-таллиевые) имеют размеры побольше и также отличаются высокой чувствительностью.

## 3. УСПЕХИ СОВЕТСКОЙ ФОТОЭЛЕКТРОНИКИ

Коммунизм требует качественно новой, более высокой техники, механизации и автоматизации производства. Техника коммунизма открывается воочию, когда мы знакомимся с автоматическими устройствами, разработанными советскими учеными и конструкторами.

Немалую роль должен сыграть в технике коммунизма и маленький «электрический глаз». Вот почему советские ученые активно и плодотворно работают в области усовершенствования этих многообещающих приборов.

Мы уже рассказывали о том, что в последние годы советскими учеными был создан целый ряд высокочувствительных фотоэлементов различных типов. Таковы, например, серно-серебряные, серно-свинцовые и серно-таллиевые фотоэлементы. Эти приборы при одном и том же освещении дают значительно больший фототок, чем все ранее известные фотоэлементы.

Значительные успехи достигнуты в Академии наук Украинской ССР, сотрудники которой разработали специальные типы фотоэлементов, отличающиеся исключительной надежностью, постоянством в работе и высокой чувствительностью к свету.

Большая заслуга в создании различных типов фотоэлементов принадлежит советскому ученому Б. Т. Коломийцу.

Замечательным достижением в области фотоэлектроники являются фотоэлектронные умножители, созданные советскими учеными Л. А. Кубецким и П. В. Тимофеевым.

Уже сейчас эти умножители находят все большее применение, а будущее их, несомненно, исключительно заманчиво.

В фотоэлектронных умножителях удачно решен один из самых важных и трудных вопросов фотоэлектро-

ники — задача получения большого фототока при слабом освещении.

Л. А. Кубецкий, создавший первые образцы фотоэлектронных умножителей, добился усиления фототока в миллионы раз, не прибегая к радиоламповым усилителям.

Идея его прибора очень проста.

Давно было известно, что поток электронов, падающий на поверхность различных металлов, выбивает из них новые, дополнительные электроны. Такие электроны носят название вторичных, а явление это называется вторичной электронной эмиссией (эмиссия — испускание).

С явлением вторичной электронной эмиссии приходится сталкиваться, например, в радиотехнике. При работе усилительной радиолампы вылетающие с ее катода электроны ударяются об анод и выбивают из него вторичные электроны, нарушающие правильную работу радиолампы. От такого нежелательного в данном случае явления стараются избавиться. Но это же явление оказалось необычайно полезным, когда оно было использовано Л. А. Кубецким в его новых электронных приборах.

В фотоэлектронном умножителе Кубецкого располагаются одна за другой большое число (11—13 и более) металлических пластинок — катодов, покрытых веществами, активно излучающими вторичные электроны. К каждой из пластинок подведено высокое напряжение. При этом электрический потенциал каждой последующей пластинки увеличивается. Свет падает на первую пластинку фотоэлектронного умножителя (на фотокатод) и выбивает из нее несколько электронов. Эти электроны летят на следующую пластинку, находящуюся под более высоким напряжением, и, ударяясь об ее поверхность, выбивают вторичные электроны. Каждый электрон образует по крайней мере два новых, вторичных электрона. Таким образом, в конце умножителя, на последней пластинке, будет уже целая лавина электронов (рис. 32). Если в умножителе имеется 11 пластинок, нетрудно подсчитать, что фототок, возникающий на первой пластинке, усилится, пройдя все пластинки, примерно в 2000 раз. А если взять умножитель с 20 пластинками, то усиление фототока будет уже в несколько миллиардов раз!

Над созданием фотоэлектронных умножителей новых систем в настоящее время успешно работают советские ученые. Больших успехов в этой многообещающей обла-

сти техники добился известный советский физик П. В. Тимофеев.

Фотоэлектронные умножители еще более расширяют возможность применения фотоэлектронных приборов.

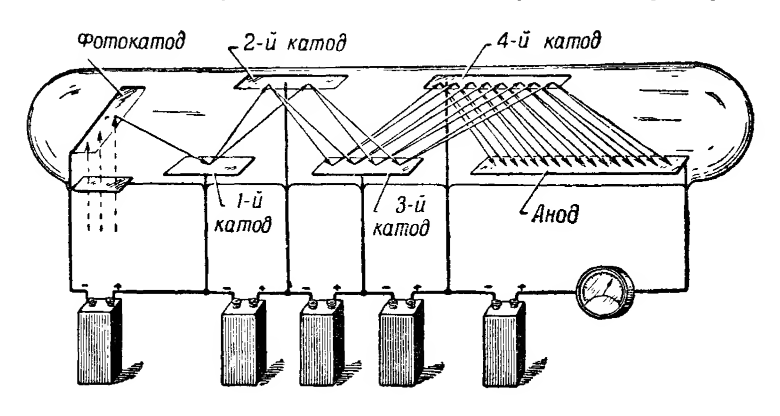



*Рис. 32.* Схема устройства фотоэлектронного умножителя. На рисунке показано, как нарастает поток электронов

Сейчас они с большим успехом применяются в научной работе для измерения свечения ночного неба, изучения физиологии зрения, в спектральном анализе, при геофизических исследованиях и т. д.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В директивах XIX съезда Коммунистической партии по пятому пятилетнему плану развития СССР на 1951—1955 годы намечено увеличить за пятилетие «выпуск приборов управления и контроля, автоматики и телемеханики, примерно, в 2,7 раза».

Приборы автоматического управления и управления на расстоянии широко применяются и будут применяться в ряде отраслей нашего народного хозяйства: в металлургии, горном деле, на электростанциях, в легкой промышленности и т. д.

Совсем другие цели преследуют правительства империалистических стран, внедряя новую технику в промышленность.

«...Капитализм стоит за новую технику, когда она сулит ему наибольшие прибыли. Капитализм стоит против новой техники и за переход на ручной труд, когда новая техника не сулит больше наибольших прибылей» [1].

С этой же целью в странах капитала используется и «электрический глаз». Его применяют только тогда, когда капиталист может еще больше эксплуатировать своих рабочих. Фотоэлектронные приборы в капиталистических странах находят применение также в злостных целях подготовки новой мировой войны.

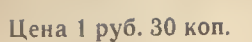
Другую роль играют фотоэлементы у нас. Маленький, зоркий «электрический глаз» с успехом используется в различных защитных устройствах, в автоматах, облегчающих труд советского человека.

Возможности применения фотоэлектроники в народном хозяйстве нашей Родины безграничны. Широкое внедрение фотоэлектроники в советскую технику поможет заменить физический труд человека работой мощных и производительных машин-автоматов эпохи коммунизма.

---

[1] И. Сталин. Экономические проблемы социализма в СССР. Госполитиздат, 1952, стр. 40.

## СОДЕРЖАНИЕ


Цена 1 руб. 30 коп.